



# ENGENHARIA 4.0

a era da produção inteligente

Organizadores:

Eduardo Mendonça Pinheiro

Patrício Moreira de Araújo Filho

Glauber Tulio Fonseca Coelho

2022

  
**Pascal**  
Editora

**10°**  
Volume

**EDUARDO MENDONÇA PINHEIRO  
PATRÍCIO MOREIRA DE ARAÚJO FILHO  
GLAUBER TULIO FONSECA COELHO  
(Organizadores)**

# **ENGENHARIA 4.0**

**ERA DA PRODUÇÃO INTELIGENTE**

**VOLUME 10**

**EDITORA PASCAL**

**2022**

**2022 - Copyright© da Editora Pascal**

**Editor Chefe:** Prof. Dr. Patrício Moreira de Araújo Filho

**Edição e Diagramação:** Eduardo Mendonça Pinheiro

**Edição de Arte:** Marcos Clyver dos Santos Oliveira

**Bibliotecária:** Rayssa Cristhália Viana da Silva – CRB-13/904

**Revisão:** Os autores

### **Conselho Editorial**

Dr. Will Ribamar Mendes Almeida

Dr<sup>a</sup>. Elba Pereira Chaves

Dr. Elmo de Sena Ferreira Junior

Dr. Saulo José Figueredo Mendes

M.Sc. José Ribamar Santos Moraes Filho

### **Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

#### **E57prod**

Engenharia 4.0: a era da produção inteligente / Eduardo Mendonça Pinheiro, Patrício Moreira de Araújo Filho, Glauber Tulio Fonseca Coelho (Orgs). São Luís - Editora Pascal, 2022.

202 f. : il.: (Engenharia 4.0; v. 10)

Formato: PDF

Modo de acesso: World Wide Web

ISBN: 978-65-80751-40-2

D.O.I.: 10.29327/569764

1. Engenharia. 2. Gestão inteligente. 3. Miscelânea. I. Pinheiro, Eduardo Mendonça, II. Araújo Filho, Patrício Moreira de. III. Coelho, Glauber Tulio Fonseca. IV. Título.

CDU: 089.3

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

**2022**

[www.editorapascal.com.br](http://www.editorapascal.com.br)

contato@editorapascal.com.br

## APRESENTAÇÃO

Esta edição da série “Engenharia 4.0: a era da produção inteligente” é o resultado da seleção de vários artigos científicos publicados sobre a temática central da obra. A equipe editorial buscou oportunizar aos acadêmicos, professores e profissionais da atuantes da área, espaço de discussão a respeito da produção inteligente e sua nova fronteira. Vale dizer que esta série pode ter números adicionais no futuro, devido à grande repercussão, interesse de vários pesquisadores e difusão deste novo conhecimento.

O presente volume é composto por 14 capítulos que foram apresentados em eventos regionais, nacionais e internacionais, além de estudos inéditos, e aqui estão agrupados segundo temática para facilitar a leitura quanto aos interesses difundidos em cada artigo, transformado em capítulo de livro e direcionados a discentes, docentes, pesquisadores e profissionais de Engenharia e áreas afins.

Os Organizadores ressaltam que as temáticas ilustradas nos capítulos desta série científica confirmam o valor da Engenharia 4.0 no contexto empresarial, científico e seus utilitários, mas principalmente vem reforçar a importância do tema de vanguarda e sua aplicabilidade, contribuindo para que as empresas e centros de pesquisa possam identificar projetos com o potencial de desenvolvimento de novas tecnologias e inovação para o futuro da indústria.

Os Organizadores

## ORGANIZADORES

### Eduardo Mendonça Pinheiro



**D**outorado em Agroecologia pela Universidade Estadual do Maranhão (UEMA, em andamento). Mestre em Agroecologia pela Universidade Estadual do Maranhão (UEMA, 2017). Pós Graduação em Gestão de Projetos pelo Centro Universitário Internacional (UNINTER, 2021). Especialista em Gestão Agroindustrial pela Universidade Federal de Lavras-MG (UFLA, 2006), Especialista em Engenharia de Produção pelo Centro Universitário Internacional (UNINTER, 2017). Graduado em Agronomia pela Universidade Estadual do Maranhão (UEMA, 2004), Licenciatura Plena pela Universidade do Sul de Santa Catarina (UNISUL, 2008). Mestrado em Engenharia pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA, interrompido em 2014). Engenheiro Agrônomo concursado pela Secretaria Municipal de Agricultura, Pesca e Abastecimento de São Luís (SEMAPA). Sócio Proprietário da Editora Pascal LTDA. Professor substituto da Universidade Estadual do Maranhão. Professor pela Faculdade Pitágoras/Anhanguera. Professor Conteudista pela UEMANET. Consultor pelo Programa Alimentos Seguros (PAS).

### Patrício Moreira de Araújo Filho



**D**outor e Mestre em Engenharia Mecânica, na área de Projetos e Materiais, pela Universidade Estadual Paulista (UNESP), Licenciado em Física pela Universidade Federal do Maranhão (UFMA). Consultor da Fundação de Amparo à Pesquisa no Maranhão (FAPEMA), é Professor/pesquisador Adjunto na Universidade do CEUMA (UniCeuma), Líder de grupo de pesquisa em engenharia aeronáutica e aeroespacial (GPEAA) e Coordena o Projeto SAE-UniCeuma desenvolvendo atividades nas áreas de Engenharia e Ensino.

### Glauber Tulio Fonseca Coelho



**P**ossui Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional - UNIDERP (2020), mestrado em Engenharia Civil (Concentração: Saneamento Ambiental) pela Universidade Federal do Ceará - UFC (2009), MBA em Gerenciamento de Projetos pela Fundação Getúlio Vargas - FGV e graduação em Engenharia Civil pela Universidade Estadual do Maranhão (2006). Discente do curso de Ciências Econômicas da Universidade Federal do Maranhão (UFMA). Atualmente é Coordenador Acadêmico da Faculdade Pitágoras de São Luís, bem como professor de disciplinas na área de Meio Ambiente e Tecnologia da Construção. Possui experiência em Construção Civil, Gestão de Projetos, Meio Ambiente, Hidrologia e Drenagem. Empresário no setor de livros virtuais científicos, sócio proprietário da Editora Pascal LTDA.

# SUMÁRIO

## **CAPÍTULO 1..... 10**

### **LEAN SEIS SIGMA EM SERVIÇO: CLASSIFICAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DA LITERATURA**

Léony Luis Lopes Negrão  
Milla Reis de Alcântara  
Mariana Pereira Carneiro Barata  
Danilo de Sena Trindade

**d.o.i.:** [10.29327/569764.1-1](https://doi.org/10.29327/569764.1-1)

## **CAPÍTULO 2..... 27**

### **PRÁTICAS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NA ATIVIDADE AGRÍCOLA DE ORGÂNICOS**

Amanda Medeiros Marques  
Giuliana Moreti Batista  
Flávio Silva Machado  
Mateus Carvalho Amaral  
Luiz Antônio de Oliveira Chaves  
Vanessa End de Oliveira

**d.o.i.:** [10.29327/569764.1-2](https://doi.org/10.29327/569764.1-2)

## **CAPÍTULO 3 ..... 46**

### **DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE BICICLETAS COMPARTILHADAS PARA O MUNICÍPIO DE RIO DAS OSTRAS**

Olivia Amaral Perdigão  
Anne Beatriz Ferreira da Costa  
Flávio Silva Machado  
Maria Helena Teixeira da Silva  
Ana Paula Barbosa Sobral  
Mateus Carvalho Amaral

**d.o.i.:** [10.29327/569764.1-3](https://doi.org/10.29327/569764.1-3)

## **CAPÍTULO 4..... 60**

### **IMPLEMENTAÇÃO DA HEURÍSTICA DE LIN-KERNIGHAN E SUA APLICAÇÃO NO SEQUENCIAMENTO DE PONTOS DE REBITAGEM**

Frederico de Castro Neto  
Edilaine Martins Soler

**d.o.i.:** [10.29327/569764.1-4](https://doi.org/10.29327/569764.1-4)

**CAPÍTULO 5..... 73**

**O SISTEMA DE TRANSPORTE NO COMPLEXO PORTUÁRIO DO ITAQUI EM SÃO LUÍS – MA**

Lucas Fontenele Ramos  
Jhennefe Neves Medeiros  
Lucas Almeida Sá  
Witson Andrade Silva

**d.o.i.:** [10.29327/569764.1-5](https://doi.org/10.29327/569764.1-5)

**CAPÍTULO 6..... 93**

**INFLUÊNCIA DO GÁS INERTE NA REFORMA DE ETANOL COM VAPOR D'ÁGUA UTILIZANDO CATALISADORES ESTRUTURADOS**

Lucas Akio Kanda  
Aline Domingues Gomes  
Marcos de Souza  
Camila Pereira Giroto

**d.o.i.:** [10.29327/569764.1-6](https://doi.org/10.29327/569764.1-6)

**CAPÍTULO 7..... 104**

**UTILIZANDO A INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL EM AMOSTRAS DE SOLOS PARA DEFINIÇÃO DE ENSAIOS GEOTÉCNICOS EM LABORATÓRIO**

Gustavo Vaz de Mello Guimarães  
Lucas Marques Pires da Silva  
Leticia Mendonça Cardoso  
Isabelle Cristina Antunes Thomaz  
Hugo Santos de Assis  
Gabriela Gomes Gonçalves  
Felippo Bammaro Pinheiro

**d.o.i.:** [10.29327/569764.1-7](https://doi.org/10.29327/569764.1-7)

**CAPÍTULO 8..... 122**

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO NÃO-DRENADO OBTIDOS A PARTIR DE DIFERENTES MODELOS DE CORRELAÇÕES COM BASE EM ENSAIOS CPT<sub>u</sub>**

Gabriele Soares dos Santos  
Lúcio Flávio de Souza Villar

**d.o.i.:** [10.29327/569764.1-8](https://doi.org/10.29327/569764.1-8)

**CAPÍTULO 9..... 134**

**CENÁRIO DAS PUBLICAÇÕES CIENTÍFICAS SOBRE REMOÇÃO DOS TRIHALOMETANOS COM BIOCOAGULANTES NO TRATAMENTO DE ÁGUA**

Vitor Marcos Lima dos Santos  
Lucas David Enoque Angelo da Silva  
Miriam Cleide Cavalcanti de Amorim

**d.o.i.:** [10.29327/569764.1-9](https://doi.org/10.29327/569764.1-9)

**CAPÍTULO 10..... 142**

**ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DE PARÂMETROS REOLÓGICOS NO ALCANCE DE UMA RUPTURA HIPOTÉTICA DE BARRAGEM**

Luciene Oliveira Menezes  
Rose Carvalho Rocha Elias  
Clemilson Wagner de Sousa Martins  
Rafael Freitas Rodrigues  
Michel Moreira Morandini Fontes

**d.o.i.:** [10.29327/569764.1-10](https://doi.org/10.29327/569764.1-10)

**CAPÍTULO 11..... 153**

**QUEIJO COALHO: UM PRODUTO TÍPICO DO NORDESTE BRASILEIRO**

Lucas Moraes Gomes  
Erika Carolina da Silva Marques  
Kyouk Isabel Portilho dos Santos  
Natácia da Silva e Silva  
Ivete Furtado Ribeiro Caldas  
Anderson Bentes de Lima  
Liderlanio de Almeida Araújo

**d.o.i.:** [10.29327/569764.1-11](https://doi.org/10.29327/569764.1-11)

**CAPÍTULO 12..... 164**

**ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO DA FOZ DO RIACHO PORTEIRAS NO MUNICÍPIO DE PETROLINA-PE**

Iasmin de Souza Silva  
Fernanda da Silva Macedo  
Victor Daniel de Lima Cunha  
Ana Laura Nunes da Silva  
Miriam Cleide Cavalcante de Amorim

**d.o.i.:** [10.29327/569764.1-12](https://doi.org/10.29327/569764.1-12)

**CAPÍTULO 13..... 173**

**SEGURANÇA DE BARRAGENS: NORMAS E CONCEITOS**

Ranielle Linhares da Silva

Carlos José Sousa Passos

Gabriela Rincon Ligoski

**d.o.i.:** [10.29327/569764.1-13](https://doi.org/10.29327/569764.1-13)

**CAPÍTULO 14..... 178**

**RESIDENTIAL WATER FEEDING SYSTEM AUTOMATION BASED ON INTERNET OF THINGS**

Aline Paula Canedo de Sales

Luiz Carlos Gomes Sacramento Junior

Raphael Basilio Pires Nonato

**d.o.i.:** [10.29327/569764.1-14](https://doi.org/10.29327/569764.1-14)

**AUTORES ..... 190**

# CAPÍTULO 1

## **LEAN SEIS SIGMA EM SERVIÇO: CLASSIFICAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DA LITERATURA**

*LEAN SIX SIGMA IN SERVICE: CLASSIFICATION, ANALYSIS AND  
LITERATURE DISCUSSION*

**Léony Luis Lopes Negrão**

**Milla Reis de Alcântara**

**Mariana Pereira Carneiro Barata**

**Danilo de Sena Trindade**

## Resumo

O setor de serviços na atualidade tem uma grande importância econômica global. Com suas particularidades, a principal característica do serviço é que o mesmo se envolve diretamente com seu cliente final, o que se faz necessário inovação estratégica dentro de seus processos, para que sua competitividade a frente do mundo globalizado não seja afetada. Muitas são as ferramentas e abordagens para que as melhorias nestes processos ocorram. E uma em especial, denominada lean seis sigma, vem ganhando espaço dentro de grandes organizações da manufatura e de alguns serviços. Porém ainda fica bastante implícito dentro da literatura como essa metodologia que combina outras duas - lean e seis sigma - pode trazer resultados satisfatórios para as empresas. O objetivo deste trabalho é, por meio de uma revisão sistemática da literatura, mapear, analisar e discutir a adoção do lean seis sigma no âmbito dos serviços, utilizando uma classificação com diversos parâmetros que visam identificar um panorama geral da literatura. Foi adotado um método sistemático de revisão onde foram mapeados 30 artigos sobre adoção lean seis sigma em serviços. Os estudos foram analisados quantitativamente e discutidos qualitativamente para compreender o estado da arte sobre a combinação lean seis sigma dentro dos mais diversos tipos de serviços. Ao final deste trabalho encontram-se algumas considerações sobre a metodologia lean seis sigma, como por exemplo, quais as ferramentas mais utilizadas dentro do roteiro DMAIC, os pontos positivos e negativos da aplicação encontrados nos artigos e sugestões para pesquisas futuras dentro dos limites deste estudo.

**Palavras-chave:** Lean seis sigma, Serviço, Revisão sistemática da literatura.

## Abstract

The service sector is currently of great global economic importance. With its particularities, the main feature of the service is that it is directly involved with its end customer, which makes strategic innovation within its processes necessary, so that its competitiveness in face of the globalized world is not affected. Many are the tools and approaches for improvements in these processes to occur. One, called lean six sigma, has been gaining ground within large manufacturing organizations and some services. However, it is still quite implicit within the literature how this methodology that combines two others - lean and six sigma - can bring satisfactory results for companies. The objective of this work is, through a systematic review of the literature, to map, analyze and discuss the adoption of lean six sigma in the scope of services, using a classification with several parameters that aim to identify an overview of the literature. A systematic review method was adopted, where 30 articles on lean six sigma adoption in services were mapped. The studies were analyzed quantitatively and discussed qualitatively to understand the state of the art on the lean six sigma combination within the most diverse types of services. At the end of this work, there are some considerations about the lean six sigma methodology, such as, for example, which tools are most used within the DMAIC script, the positive and negative points of the application found in the articles and suggestions for future research within the limits of this study.

**Key-words:** Lean six sigma, Service, Systematic review of literature.



## 1. INTRODUÇÃO

Conceitualmente, serviço é um conjunto de processos que culminam em uma experiência, com consumo instantâneo, intangível e totalmente desenvolvida para um cliente, que age como coprodutor, ou seja, só acontece por meio de sua participação (FITZSIMMONS, 2014). Em meio a atual crise econômica, não apenas o Brasil, mas em grande parte do mundo, o setor de serviços precisa melhorar sua qualidade e aperfeiçoar a maneira com os processos são gerenciados, o que conseqüentemente leva a redução dos custos e a melhoria da qualidade na prestação do serviço.

*Seis sigma*, *Lean Manufacturing*, TQM, são algumas das ferramentas adotadas para a melhoria de processos e da própria percepção de qualidade que é oferecida ao cliente final. Em um cenário onde a inovação e a criatividade muito das vezes são a chave para alavancar iniciativas e projetos de melhoria contínua, misturar e sincronizar diferentes ferramentas podem tornar o setor de serviços ainda mais competitivo. Um exemplo é a combinação da filosofia *lean* com o método sistemático *seis sigma*.

Na literatura encontra-se estudos da aplicabilidade *lean seis sigma* (LSS) no setor de serviços. Segundo Snee (2010), a definição de *lean seis sigma* funciona como uma estratégia e metodologia organizacional que aumenta a performance de processos resultando no aperfeiçoamento da satisfação do cliente e maximizando de fato o valor oferecido ao mesmo.

Muitos são os motivos para a implementação LSS na indústria dos serviços, por exemplo: para melhorar a eficiência operacional, capacidade produtiva e alcançar mercados globais (VINODH et al., 2012); para reduzir custos e elevar a satisfação do cliente (CHEN; LYU, 2009). De certa forma, ainda que existam estudos sobre a aplicação LSS em serviços, ainda assim não é totalmente explícito como a abordagem *híbrida* das duas metodologias funciona e como as práticas se cruzam dentro de um *framework* que seja acessível e prático. Assim sendo, como está evidenciado na literatura a adoção do *lean seis sigma* em serviços?

Com isso, o objetivo é mapear, revisar, classificar, analisar e discutir a literatura em diferentes parâmetros da adoção do *lean seis sigma* nos diversos ambientes de serviços.

## 2. MÉTODO DE PESQUISA

O método da pesquisa está baseado em etapas adaptadas de Negrão et al. (2016), que estruturam um método para se fazer uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), a partir de cinco passos, vide Figura 1.

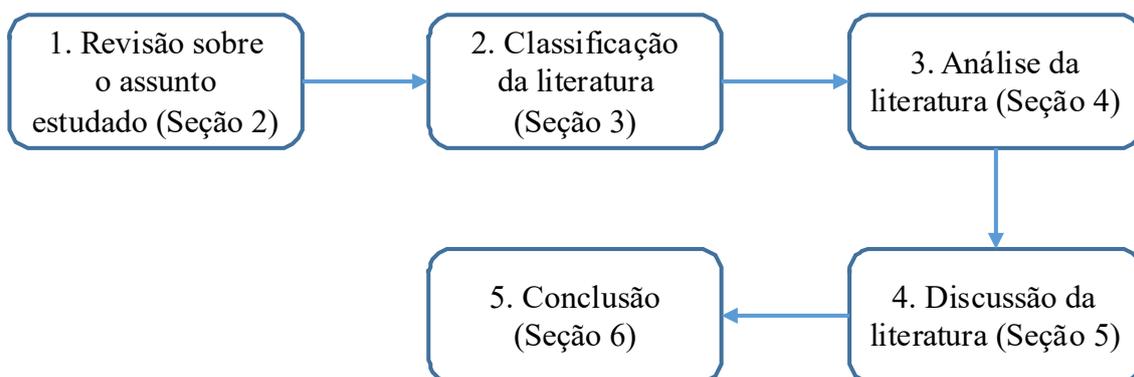


Figura 1 – Etapas da RSL  
 Fonte: Adaptado de Negrão et al. (2016)

Com relação ao primeiro passo, Revisão sobre o Assunto Estado, têm-se que:

- a) Pesquisa das bases: Foi realizada inicialmente uma pesquisa sobre o assunto, buscando alguns trabalhos que pudessem auxiliar na definição das palavras-chave a serem utilizadas na formulação das strings de busca empregadas nas bases de dados. Após uma busca e leitura inicial, formulou-se o protocolo de pesquisa conforme consta na Tabela 1, o qual foi utilizado no presente método de RSL.

Palavras-chave	Lean Six Sigma, Services, LSS
Operador booleano	AND e OR
Base de dados	Scopus, Web of Science, Science Direct
Critérios de inclusão	Mostra a aplicação do LSS em serviços
	Avalia a adoção do LSS em serviços
	Aborda os fatores de sucesso na adoção do LSS em serviços
Critérios de exclusão	Não mostra a adoção do LSS em serviços
	Não avalia o LSS em serviços
	Aborda apenas o tema Lean
	Aborda apenas o tema Six Sigma
Idioma	Português e Inglês
Tipo de documento	Artigos científicos
Ano de publicação	Sem filtro

Tabela 1 – Protocolo de busca, seleção e extração de dados da literatura  
 Fonte: Adaptado de Negrão et al. (2016)

- b) Primeiro filtro: inicialmente obteve-se 350 artigos científicos, que foram exportados para a ferramenta de auxílio a RSL *StArt*. Foi definido um primeiro filtro, que tinha como critério a leitura do resumo, procurando identificar se o estudo estava relacionado ao objetivo do presente artigo. Caso positivo, o artigo era classificado com uma ordem prioritária de leitura: *very high*, *high*, *low* e *very low*. Após esse filtro, restaram 90 artigos;

- c) Segundo filtro: no segundo filtro foi considerado os critérios de inclusão e exclusão, em que os 90 artigos foram incluídos ou excluídos. Restando 30 artigos; e
- d) Extração de dados: os 30 artigos selecionados anteriormente foram lidos na íntegra, sendo extraídos alguns parâmetros, conforme consta na Classificação da Literatura.

Sendo assim, segue-se com o segundo passo, Classificação da Literatura (Seção 3), sintetizando os dados extraídos dos artigos revisados. As Análises e Discussões acerca dos artigos revisados, estão nas Seções 4 e 5, respectivamente.

### 3. CLASSIFICAÇÃO DA LITERATURA

Na presente pesquisa buscou-se caracterizar a adoção do LSS em ambientes empresariais de serviços. Para tal, considerou-se alguns parâmetros conforme descritos:

- a) País: dentre os países identificados no mapeamento da literatura, têm-se, Canadá (CAN), China (CHN), Grã-Bretanha (GBR), Índia (IND), Irlanda (IRL), Itália (ITA), Malásia (MAS), Holanda (NED), Tailândia (THA) e Estados Unidos (USA);
- b) Objeto de pesquisa: de acordo com o Ministério da Economia, Indústria, Comércio Exterior e Serviços, existem 12 categorias de tipos de serviços baseando-se na Classificação Central de Produtos Básicos (CPC) das Nações Unidas. O presente trabalho se baseia nessa classificação, para indicação do objeto pesquisado na literatura;
- c) Método de pesquisa: em conformidade com Ganga (2012) e Martins et al. (2014), os métodos de pesquisa considerados foram, Estudo de Caso, Pesquisa-Ação, *Survey*, Modelagem/Simulação e Revisão da Literatura;
- d) Motivos para adoção das práticas LSS: a partir da identificação dos objetivos primários dos artigos revisados, que mostraram uma relação entre resultados esperados e os resultados obtidos;
- e) Modelo de práticas LSS: baseado na utilização de ferramentas *lean seis sigma*, roteiro de aplicação DMAIC ou baseados em modelos de outros autores;
- f) Relação com desempenho: indicação da utilização de indicadores de desempenho para quantificar os resultados ao final dos estudos;
- g) Indicador de desempenho: qual tipo de indicador foi utilizado para quantificar os resultados alcançados nos estudos. Nove indicadores foram identificados, sendo eles, TC (Tempo de Ciclo), VAR (Variabilidade), LT (*Lead Time*), NC (Não Conformidade), SAT (Satisfação), CST (Custos), PRC (Processamento), CAP (Capacidade), TO (*Turn Over*);
- h) Fatores críticos de sucesso: assimilados e auto interpretados a partir da revisão de literatura de Sunder (2013), dentre os principais, "envolvimento da gerência", "seleção correta de projetos", "perspectiva além do projeto" dentro outros; e

i) Resultados alcançados: descrição sucinta dos principais ganhos no uso do LSS nos artigos revisados.

Os artigos mapeados e revisados na literatura constam relacionados na Tabela 2, com os dados supracitados extraídos.

(continua)

Autor	País	Objeto de Pesquisa	Método de Pesquisa	Motivos para Adoção LSS	Modelo de Práticas LSS	Relação com o Desempenho	Indicador de Desempenho
<a href="#">Antony et al. (2018)</a>	GBR	Serviços Públicos	Estudo de Caso	Buscar melhorias e aumentar a eficiência no processo de compartilhamento de informações	6 Práticas LSS, Segundo <a href="#">Sunder e Antony (2015)</a>	SIM	Redução dos Custos
<a href="#">Bumblauskas e Kalghatqi (2018)</a>	IRL	Serviços Públicos	Estudo de Caso	Identificar a variabilidade do 5S através do roteiro DMAIC	1 Prática LSS, Segundo <a href="#">Markovitz's (2015)</a>	SIM	Fluxo de Informação; Taxa de Variação
<a href="#">Deithorn e Kovach (2018)</a>	USA	Serviços de Empresas	Estudo de Caso	Reduzir o tempo de faturamento dos serviços prestados	4 Práticas LSS, Segundo <a href="#">Antony et al. (2012)</a>	SIM	Tempo de Faturamento
<a href="#">Furterer (2018)</a>	USA	Serviços de Saúde e Sociais	Estudo de Caso	Aplicar as práticas LSS para diminuir a superlotação em um hospital	3 Práticas LSS, Segundo os Próprios Autores	SIM	Tempo de Permanência; Tempo de Espera
<a href="#">Kovach e Borikar (2018)</a>	USA	Serviços de Saúde e Sociais	Estudo de Caso	Melhorar o ciclo de receita reduzindo as recusas de pedidos de seguros	4 Práticas LSS, Segundo <a href="#">Tague (2005)</a>	SIM	Número de Recusas; Número de Reivindicações
<a href="#">Molla et al. (2018)</a>	USA	Serviços de Saúde e Sociais	Estudo de Caso	Melhorar a qualidade através do aumento de altas	4 Práticas LSS, Segundo os Próprios Autores	SIM	<u>Recharge Time</u> ; Tempo de Internação
<a href="#">Shamsuzzaman et al. (2018)</a>	MAS	Serviços de Comunicação	Estudo de Caso	Melhorar o atendimento de serviços mobile	9 Práticas LSS, Segundo os Próprios Autores	SIM	<u>Lead Time</u> de Atendimento
<a href="#">Alsubaie e Yang (2017)</a>	GBR	Serviços de Empresas	Pesquisa-ação	Identificar desperdícios no atual modelo de gestão da manutenção	5 Práticas LSS, Segundo os Próprios Autores	NÃO	-

(continua)

Fatores Críticos de Sucesso	Resultados Obtidos
Equipe LSS qualificada; Identificação de métricas e <a href="#">stakeholders</a>	Os autores só destacam que este estudo fez parte de um projeto mais amplo de melhoria contínua nos serviços públicos, e que gerou resultados significativos na redução dos custos e na melhoria de processos do departamento de polícia.
Equipe LSS qualificada; Identificação de métricas e <a href="#">stakeholders</a>	Devido às restrições de tempo e custo, os resultados estatísticos podem não ser tão confiáveis. Os autores afirmam que a adoção do 5S aumentará a produtividade mesmo que o estudo não evidencie esta sugestão estatisticamente.
Medições acuradas do estado atual; Identificação de métricas e <a href="#">stakeholders</a>	Além da redução do tempo de <u>faturamento</u> , o DMAIC se mostrou eficiente por oferecer ferramentas para resolver problemas de forma mais agressiva (um projeto com metas ousadas subdivido em projetos menores).
Apoio da alta gerência; Equipe LSS qualificada; Acesso aos dados; <a href="#">Monitoramento</a>	Houve grande melhoria dos processos do serviço de emergência, principalmente na diminuição do tempo de permanência do paciente, taxa de altas inadequadas e melhoria na satisfação deles.
Compreensão aprofundada do processo; <a href="#">Monitoramento</a>	Houve significativas economias na parte financeira, além da determinação da principal causa na recusa dos pedidos de seguro.
Compreensão aprofundada do processo	A adoção do LSS na melhoria da qualidade pode ser alcançada no setor da saúde, melhorando o cuidado e a eficiência (incluindo pontualidade do processo de alta) levando-se em consideração uma variedade de configurações complexas de atendimento de saúde.
Apoio da alta gerência; Identificação de métricas e <a href="#">stakeholder</a> ; Relações interpessoais	A implementação bem-sucedida do projeto reduziu o tempo médio de atendimento do pedido SO e VAS de 10,3 a 5,9 dias e de 1,5 a 0,5 dias, <u>respectivamente</u> . Esta redução resultou no aumento dos níveis sigma tanto da ordem SO quanto VSA de 0,44 para 1,26 e de 0,73 para 2,66.
-	O estudo apenas denotou enfatizou a integração do TPM com as práticas LSS. Os autores afirmam que o modelo é genérico e pode ser replicado para outros serviços de manutenção.

Tabela 2 - Classificação da literatura mapeada

(continua)

Autor	País	Objeto de Pesquisa	Método de Pesquisa	Motivos para Adoção LSS	Modelo de Práticas LSS	Relação com o Desempenho	Indicador de Desempenho
<u>Bail et al. (2017)</u>	USA	Serviços de Saúde e Sociais	Estudo de Caso	Diminuir as barreiras da adoção de projetos LSS em programas de saúde do governo	2 Práticas LSS, Segundo os Próprios Autores	NÃO	-
<u>Bazrkar et al. (2017)</u>	GBR	Serviços Financeiros	Estudo de Caso	Alinhar os objetivos estratégicos juntamente com as ações de melhoria na performance do serviço bancário e na satisfação do cliente	4 Práticas LSS, Segundo <u>Antony (2005)</u>	SIM	Tempo de Substituição
<u>Chaurasia et al. (2017)</u>	IND	Serviços de Saúde e Sociais	Estudo de Caso	Identificar os desafios e a eficiência da adoção LSS no tratamento de pacientes com câncer	7 Práticas LSS, Segundo os Próprios Autores	SIM	Tempo de Diagnóstico; Tempo de Ciclo; Fluxo de Informação
<u>Kovach et al. (2017)</u>	USA	Serviços Públicos	Pesquisa-ação	Melhorar o processo de comunicação e compartilhamento de informações	4 Práticas LSS, Segundo <u>Snee (2005)</u>	SIM	Comunicação Ineficiente; Compartilhamento de Informação
<u>Improta et al. (2017)</u>	ITA	Serviços de Saúde e Sociais	Estudo de Caso	Reduzir o risco de infecções associadas à assistência de saúde	4 Práticas LSS, Segundo os Próprios Autores	SIM	Número de Pacientes Infectados
<u>Nayar et al. (2016)</u>	USA	Serviços de Saúde e Sociais	Estudo de Caso	Avaliar as conformidades no atendimento de pacientes, coletar e descrever os dados sobre a gestão de medicamentos	1 Prática LSS, Segundo os Próprios Autores	SIM	Tempo de Preenchimento; Redução de Tempo da Equipe
<u>Sunder (2016)</u>	IND	Serviços Financeiros	Pesquisa-ação	Identificar o impacto da adoção de práticas LSS no <u>backstage</u> de um banco	6 Práticas LSS, Segundo <u>George (2002)</u> e <u>Snee (2010)</u>	SIM	Número de Contas Abertas

(continua)

Fatores Críticos de Sucesso	Resultados Obtidos
Adaptar as ferramentas LSS para o contexto de aplicação	Os autores oferecem orientações para fornecer e avaliar recomendações estruturais para possíveis aplicações LSS nos programas de saúde do governo, entretanto, eles ressaltam que se deve ter cautela na aplicação em alguns contextos.
Adaptar as ferramentas LSS para o contexto de aplicação	Houve redução no tempo de espera do cliente baseado no alinhamento estratégico da empresa. Os autores destacam também que o uso do modelo de eficiência cruzada pode ser uma escolha adequada quando se faz uma interface com o LSS.
Equipe LSS qualificada	Houve aumento no desempenho de atendimento de 40% a 95%. Os autores afirmam que este estudo é o único que engloba a adoção das práticas LSS no tratamento de pacientes com câncer.
Adaptar as ferramentas LSS para o contexto de aplicação	A <u>porcentagem</u> de pacientes <u>infectados</u> foi reduzida de 0,36% para 0,19%
Compreensão aprofundada do processo	Houve melhora na pontuação da eficiência de comunicação de 4 para 5 pontos na escala <u>Likert</u> .
-	A partir do redesenho dos processos a qualidade no serviço prestado melhorou. As práticas usadas neste estudo podem ser aplicadas no <u>gerenciamento</u> de medicamentos.
-	Os autores destacam que juntamente com a construção da mentalidade de melhoria nas operações, o projeto LSS trouxe uma economia de IRN 1,6 milhões, logo os autores recomendam a adoção de práticas LSS nos serviços bancários, especialmente em <u>serviços de transações offshore</u> .

Tabela 2 - Classificação da literatura mapeada

(continua)

Autor	País	Objeto de Pesquisa	Método de Pesquisa	Motivos para Adoção LSS	Modelo de Práticas LSS	Relação com o Desempenho	Indicador de Desempenho
<a href="#">Thawesaengskulthai e Jarumanee (2016)</a>	THA	Serviços Educacionais	Estudo de Caso	Melhorar o serviço de transporte identificando e rastreando o uso dos veículos através ação conjunta entre LSS e Metodologia 5D	5 Práticas LSS, Segundo os Próprios Autores	SIM	Satisfação do Cliente; Tempo de Processo; Tempo de Retorno
<a href="#">Improta et al. (2015)</a>	ITA	Serviços de Saúde e Sociais	Estudo de Caso	Desenvolver uma trajetória clínica que permita melhorar a qualidade e reduzir custos em cirurgias de prótese de quadril	9 Práticas LSS, Segundo De <a href="#">Mast et al. (2006)</a>	SIM	Tempo de Espera; Taxa de Atraso
<a href="#">Zwetsloot et al. (2015)</a>	NED	Serviços Financeiros	Estudo de Caso	Melhorar a acessibilidade do atendimento de serviço ao cliente	8 Práticas LSS, Segundo De <a href="#">Mast et al. (2012)</a>	SIM	Taxa FTFR; <u>Lead Time</u>
<a href="#">Tenera e Pinto (2014)</a>	POR	Serviços de Comunicação	Modelo <u>Conceitual</u>	Melhorar a gestão de projeto com base no roteiro DMAIC	4 Práticas LSS, Segundo os Próprios Autores	SIM	Tempo de Duração do Projeto
<a href="#">Aleem (2013)</a>	USA	Serviços de Saúde e Sociais	Pesquisa-ação	Aplicar o LSS para análise e melhoria no tempo de espera na consulta de pacientes	5 Práticas LSS, Segundo os Próprios Autores	SIM	Tempo de Espera; Taxa de Falta
<a href="#">Lee et al. (2013)</a>	CHN	Serviços de Transporte	Estudo de Caso	Aumentar a eficiência do processo de reembolso	5 Práticas LSS, Segundo os Próprios Autores	SIM	Tempo de Processamento; Taxa de Erros
<a href="#">Sarkar et al. (2013)</a>	IND	Serviços Financeiros	Estudo de Caso	Diminuir o tempo de ciclo no processo de liquidação de contas	5 Práticas LSS, Segundo George (2002) e <a href="#">Snee (2010)</a>	SIM	Tempo de Ciclo
<a href="#">Paccagnella et al. (2012)</a>	ITA	Serviços de Saúde e Sociais	Estudo de Caso	Reduzir o número de consultas recorrentes e o tempo de espera para consulta média de pacientes com diabetes	5 Práticas LSS, Segundo os Próprios Autores	SIM	Tempo de Espera

(continua)

Fatores Críticos de Sucesso	Resultados Obtidos
-	Depois da aplicação LSS houve um aumento de 30% da satisfação do cliente, além de diminuírem os tempos de transporte, eliminar atividades que não agregam valor (9 para 7 atividades) melhorou também o tempo de retorno do sistema de informação dos veículos.
Colaboração multidisciplinar	O primeiro conjunto de resultados apontou de fatores como idade e de saúde sugeridos pela ASA geram maiores riscos para um tempo de espera prolongado. Já o segundo conjunto apontou redução no tempo de espera em 44%. Outras ações corretivas diminuíram a variabilidade no tempo de permanência, representando uma economia anual de 260.000
Metodologia sistemática via DMAIC	O estudo mostra como a estrutura DMAIC ajuda a fornecer foco para um projeto de melhoria e demonstra como o LSS pode ajudar a aumentar um indicador chamado FRTR do SAC de um banco.
Adaptar as ferramentas LSS para o contexto de aplicação	O roteiro DMAIC melhorou a gestão de projetos como um todo, criou a ideia de melhoria contínua e redução de desperdícios.
Seleção correta do projeto LSS; Apoio da alta gerência; Identificação de métricas e stakeholders	O estudo aumentou o valor sigma do tempo de espera para 2,22 com uma taxa de defeitos equivalente a 23,7%. Houve também a diminuição na taxa de falta de 20% para 15% em 4 meses.
Apoio da alta gerência; Metodologia sistemática via DMAIC	Além da principal melhoria alcançada, no aprimoramento do processo de reembolso, os autores destacam que esta mudança causou impactos positivos em outros serviços como por exemplo, o processo de vendas e o processo de <i>picking</i> , refletindo ganhos financeiros.
-	A aplicação das ferramentas FMEA e <i>Process Map</i> reduziram o tempo de ciclo do processo em questão, resultando também no aumento da satisfação do cliente e na redução dos custos operacionais.
Colaboração multidisciplinar	Como a fase 1 do projeto alcançou resultados significativos, a fase 2 foi iniciada e desenvolvida. O principal resultado deste estudo fora um diagrama de prioridades de atendimento com base em parâmetros de acordo com o estado de saúde e o tipo de diabete que o paciente apresenta.

Tabela 2 - Classificação da literatura mapeada



(continua)

Autor	País	Objeto de Pesquisa	Método de Pesquisa	Motivos para Adoção LSS	Modelo de Práticas LSS	Relação com o Desempenho	Indicador de Desempenho
<a href="#">Kemper et al. (2011)</a>	NED	Serviços de Comunicação	Estudo de Caso	Reduzir custos operacionais no processo de manipulação e gestão de <u>retrabalhos</u> de correspondências com rotas incorretas	3 Práticas LSS, Segundo os Próprios Autores	SIM	Número de Volumes Enviados; Número de Erros
<a href="#">Kuo et al. (2011)</a>	CAN	Serviços de Saúde e Sociais	Estudo de Caso	Diminuir a lacuna entre o serviço prestado e o cliente	4 Práticas LSS, Segundo os Próprios Autores	SIM	Tempo de Espera; Tempo de Atendimento; Tempo de Permanência
<a href="#">Erdmann et al. (2010)</a>	NED	Serviços de Empresas	Estudo de Caso	Melhorar os processos de <u>faturamento</u>	3 Práticas LSS, Segundo os Próprios Autores	SIM	Tempo de Processamento; Tempo de Espera; Número de Defeitos
<a href="#">Laureani e Antony (2010)</a>	GBR	Serviços de Empresas	Estudo de Caso	Reduzir a rotatividade voluntária dos colaboradores	7 Práticas LSS, Segundo os Próprios Autores	SIM	Taxa de Rotatividade
<a href="#">Laureani et al. (2010)</a>	GBR	Serviços de Empresas	Estudo de Caso	Melhorar o desempenho da resolução de problemas do cliente logo na primeira chamada	8 Práticas LSS, Segundo os Próprios Autores	SIM	Índice de Resolução de Problema
<a href="#">Wang e Chen (2010)</a>	CHN	Serviços Financeiros	Estudo de Caso	Integrar LSS com uma ferramenta chamada TRIZ para melhorar os processos	8 Práticas LSS, Segundo os Próprios Autores	SIM	Tempo de Ciclo; Tempo de Abertura de Conta
<a href="#">Su et al. (2006)</a>	CHN	Serviços de Empresas	Estudo de Caso	Melhorar o nível de serviço do setor de assistência técnica	8 Práticas LSS, Segundo <a href="#">Snee (2004)</a>	SIM	Tempo de Ciclo; Eficiência do Ciclo; Taxa de Transferência

(conclusão)

Fatores Críticos de Sucesso	Resultados Obtidos
-	Os benefícios relatados na adoção do LSS, segundo os autores, foram 2x maiores do que originalmente previsto no <u>project charter</u> , eles destacam também que a metodologia deixou mais claro os custos envolvidos com o <u>retrabalho</u> .
-	Os autores destacam que a aplica LSS neste nível operacional irá refletir basicamente em custos, entretanto, em níveis estratégicos o impacto será mais amplo.
Foco no objetivo; Equipe LSS qualificada	Os autores apenas enfatizam que o roteiro DMAIC pode dar bastante suporte na estruturação e resolução de problemas, e dentro do escopo da pesquisa, definindo a melhora no processo de <u>faturamento</u> .
-	Os principais resultados foram na redução da taxa de rotatividade de 30% para 25% com previsões de redução de custos com admissão de US\$1,3 milhões.
-	Os autores apenas destacam que adoção do LSS neste contexto pode contribuir para melhorar o processo de resolução de problemas de cliente logo no primeiro <u>contato</u> e consequentemente reduz a falha criada no processo global.
Apoio da alta gerência	Os autores afirmam que o estudo conseguiu eliminar desperdícios de tempo de espera na abertura de contas, além de criar uma infraestrutura que pode iniciar e sustentar outras iniciativas de melhoria da qualidade. Os autores dizem que a abordagem LSS e TRIZ afetou de forma significativa a melhoria das atividades.
-	O tempo médio de processamento do setor de <u>helpdesk</u> da empresa foi reduzido em 79,5 minutos (47,5% em comparação como o tempo antigo) também excedendo alvo do projeto que era de 112 minutos. Além disso o desvio padrão diminui em 58,4 minutos (71,6%) mostrando que o processo se tornou mais estável entre os intervalos de processamento.

Tabela 2 - Classificação da literatura mapeada  
Fonte: Autores (2021)

## 4. ANÁLISE DA LITERATURA

### 4.1 País

Foram mapeados 11 países com publicações sobre *lean seis sigma* no setor de serviços. Destacam-se os EUA com o maior número de publicações, com 26,7% (8 artigos) do total, e o Reino Unido com 16,7% (5 artigos). Seguidos de Índia, Itália, Holanda e China com 3 publicações, cada. E outros países que apresentaram 1 publicação cada.

### 4.2 Objeto de pesquisa

A distribuição dos tipos de serviços que aplicaram *lean seis sigma* em seu escopo de estudo, perfaz 7 tipos. A maioria dos estudos aplicaram LSS em serviços de Saúde e Sociais (11 artigos), seguido dos serviços de empresas (6 artigos) e serviços financeiros (5 artigos). Serviços públicos, comunicação, educacionais e transporte apresentaram a mesma quantidade de estudos, 3 e 1, respectivamente.

### 4.3 Método de pesquisa e modelos de práticas LSS

Dentre os métodos de pesquisa mapeados nos estudos, três métodos se destacaram-se, o Estudo de Caso com frequência de 83,3% (25 artigos) e a Pesquisa-Ação com 13,3% (4 artigos).

Com relação aos modelos de práticas LSS usados nos estudos revisados. Considerou-se se os mesmos faziam referência a outros estudos ou se era de autoria própria. Dentro os artigos que aplicaram o método Estudo de Caso, a proposição de modelos de práticas LSS se deu em 64,0% dos estudos revisados. Enquanto, os artigos que adotaram a Pesquisa-Ação essa proporção está em 50%.

Ainda sobre os modelos de práticas LSS estudados observou-se que ao longo dos estudos uma média de 5 práticas são adotadas pelos autores na aplicação do roteiro DMAIC.

A princípio não há um modelo de práticas LSS formalmente identificado nos estudos, visto que algumas ferramentas e práticas foram observadas em diferentes fases do ciclo DMAIC tanto em estudos que se baseiam em outros autores como em estudos que os autores utilizam seu próprio modelo.

### 4.4 Práticas LSS adotadas

As principais práticas LSS adotadas em cada etapa do roteiro DMAIC foram, respectivamente: *Define* (SIPOC), *Measure* (Análise de Capacidade), *Analyse* (Ishikawa), *Im-*



prove (*Value Stream Map - VSM*) e *Control* (Carta de Controle).

Outrossim, para cada etapa do roteiro DMAIC foram usadas uma média de 8 práticas, organizadas na Tabela 3.

Etapa DMAIC	Prática LSS	Quantidade
D	SIPOC	13
	<u>Project Charter</u>	12
	Fluxograma	11
	CTQ	6
	VOC	6
	<u>Análise de Pareto</u>	1
	VSM	1
	<u>7 Wastes</u>	1
M	<u>Análise de Capabilidade</u>	10
	Fluxograma	5
	VSM	4
	CTQ	4
	<u>Brainstorming</u>	3
	Carta de Controle	3
	<u>Análise de Pareto</u>	2
	Histograma	2
	SIPOC	1
	5S	1
	VOC	1
	<u>Benchmarking</u>	1
A	<u>Ishikawa</u>	18
	<u>Brainstorming</u>	7
	VSM	5
	<u>Análise de Pareto</u>	5
	FMEA	3
	QFD	2
	Carta de Controle	1
	SIPOC	1
	VOC	1
	I	VSM
<u>Brainstorming</u>		2
5S		1
PDCA		1
<u>Ishikawa</u>		1
FMEA		1
<u>Análise de Pareto</u>		1
Árvore de Decisão		1
<u>Pull System</u>		1
C		Carta de Controle
	<u>Poka Yoke</u>	1
	FMEA	1
	<u>Análise de Capabilidade</u>	1

Tabela 3 – Frequência das práticas LSS por etapa DMAIC  
Fonte: Autores (2021)

## 4.5 Fatores críticos de sucesso

Outro dado extraído na revisão sistemática, relaciona-se aos principais fatores que limitavam a adoção do LSS. Estes fatores foram baseados na revisão de Sunder (2013).

Os fatores mais importantes são, equipe LSS qualificada e a identificação de métricas e *stakeholders*, repetidos em cinco artigos revisados, o apoio da alta gerência e a adaptação das práticas LSS para o contexto, identificados em quatro estudos, e a compreensão aprofundada do processo citada por três estudos.

## 5. DISCUSSÃO DA LITERATURA

### 5.1 Artigos que não relacionam a adoção do LSS com medidas de desempenho

Dentre todos os artigos analisados, apenas dois, de 30 artigos, não mencionam medidas de desempenho em seu escopo de estudo. O primeiro se utiliza de 5 práticas LSS para identificar desperdícios e oportunidades no modelo de gestão da manutenção. Alsubaie e Yang (2017) enfatizaram em seus resultados a integração do TPM (Total Production Maintenance) com as práticas LSS afirmando que seu modelo genérico pode ser aplicável a outros tipos de serviços da mesma natureza, porém os autores não deixam claro as medidas de desempenho usadas no estudo bem como a menção de qualquer fator crítico de sucesso.

O segundo estudo que não utiliza medida de desempenho, fez uso de duas práticas LSS para desburocratizar a própria adoção LSS em programas de saúde do governo local. Ball et al. (2017) oferecem uma espécie de orientações pré-definidas de como avaliar as características estruturais para possíveis aplicações de práticas LSS no âmbito da saúde pública, considerando a adaptação das ferramentas LSS para o contexto da aplicação como um fator de sucesso.

Nestas duas situações uma medida de desempenho que poderia ser usada seria baseada no número de projetos LSS que cumprissem com êxito seus objetivos (no primeiro caso, seguindo o modelo genérico e no segundo caso seguindo as predefinições estabelecidas).

### 5.2 Artigos que relacionam a adoção do LSS com medidas de desempenho

Foram mapeados 7 objetivos, dentre os estudos da RSL, que a partir dos indicadores de desempenho utilizados pelos autores, apresentaram relação com o objetivo geral desses estudos. Os objetivos de Melhoria no Processo e Aumento da Qualidade apresentaram uma grande relação com os indicadores de desempenho, como pode ser observado na Tabela 4. Mais de 40% dos estudos, apresentaram em seus resultados uma relação com o

objetivo de melhorar o processo. Esta relação pode ser explicada pelo uso de ferramentas como SIPOC, Fluxograma e Análise de Capacidade. Estas, que por sua vez, dão um suporte maior para criar, definir e medir processos e que são facilmente associados aos indicadores de Não Conformidade (NC), Tempo de Processamento (PRC), Capacidade (CAP), Variabilidade (VAR), etc. O objetivo geral de melhora da qualidade apresenta relação com os mesmos indicadores de desempenho do objetivo de melhoria do processo.

Objetivo Geral	Indicadores de Desempenho									Total
	TC	VAR	LT	NC	SAT	CST	PRC	CAP	TO	
Melhorar o processo	X	X	X	X	X	X	X	X		8
Aumentar a qualidade	X	X	X	X	X	X	X	X		8
Reduzir o tempo de ciclo	X	X	X		X		X	X		6
Aumentar a satisfação	X	X	X	X	X				X	6
Reduzir o <i>lead time</i>	X		X		X		X	X		5
Identificar perdar	X	X		X		X			X	5
Reduzir custos				X		X			X	3

Tabela 4 – Relação dos objetivos gerais com os indicadores de desempenho  
Fonte: Autores (2021)

Em quantidades menores de relação com os indicadores de desempenho estão os objetivos de Redução do *lead time*, Identificação de perdas e Redução de custos, ainda observando os resultados da Tabela 4. Esta relação pode se justificar, principalmente, porque foram poucos estudos que utilizaram o VSM como suporte para a identificação de perdas, definição de fluxo de valor, que por sua vez geram a redução do *lead time*, trazem equilíbrio a capacidade do processo e a padronização, diminuindo assim as perdas, não conformidades e reduzindo os custos. Outro ponto a destacar é quando o VSM é utilizado com algumas inconsistências, em alguns estudos revisados. Visto que algumas técnicas, que suportam o VSM para melhorar o fluxo, também são inexistentes nesses estudos, como: *Kanban*, *Heijunka*, *Milk run*, que formam a base dos princípios da adoção *lean* bem como o pilar *Just in time*.

### 5.3 Resultados gerais da classificação

A maioria dos artigos revisados obtiveram resultados bastantes expressivos com a adoção LSS nos mais diversos tipos de serviços. Alguns estudos indicam melhoria nos fluxos dos processos, redução de custos, aumento na eficiência de atendimento ao cliente e aumento na satisfação, (por exemplo, MOLLA et al., 2018; CHAURASIA et al., 2017; IMPROTA et al., 2017; THAWESAENGSKULTHAI E JARUMANEE 2016).

Os resultados dos estudos mapeados mostraram excelência no uso de ferramentas e análises estatísticas e até no aumento de níveis *sigma*. Aleem (2013) aumentou do nível *sigma* para um valor de 2,22 reduzindo o tempo de espera nas consultas de pacientes de um hospital. Estudos similares também mostraram os benefícios e desafios do uso do roteiro de aplicação DMAIC (principal agente de operacionalização do *seis sigma*) como uma

ferramenta poderosa na definição, análise e solução de problemas. Entretanto enquanto a parte *seis sigma* fora usado de forma coerente, a integração com o *lean* se mostrou quase inexistente.

As análises mostraram pouco ou nenhum uso de práticas/ferramentas *lean*, e em praticamente todos os artigos não fica claro em quais fases do roteiro DMAIC a adoção *lean* cria algum tipo de sinergia com *seis sigma*. E, assim como o DMAIC está para o *seis sigma* o VSM está para o *lean*. Sunder (2013), evidencia em sua RSL que o VSM é a chave para visualização das oportunidades de melhoria no processo por meio da eliminação das sete perdas, na identificação e remoção de gargalos (geralmente resultados de grandes estoques e superprodução) e principalmente na redução do *lead time* total do sistema.

O bom uso do VSM cria um cenário onde se possibilita a diminuição de estoques com o uso do *kamban* e supermercados, viabiliza planos *kaizen* estratégicos além de nivelar todo o fluxo de valor em função do tempo *takt*. Porém, em alguns estudos revisados, as aplicações do VSM perpassavam em apenas uma fase do roteiro DMAIC, o que dificultou afirmar que os resultados desses estudos são fruto de uma aplicação *lean seis sigma*.

O equilíbrio entre as duas metodologias é alcançável desde que, a partir da fase inicial até a fase final do roteiro DMAIC, os elementos *lean* e *seis sigma* estejam presentes e conectados. De fato, o uso de uma ferramenta bastante comum nas aplicações *seis sigma*, como é o caso do DMAIC, pode acabar criando um desequilíbrio onde as ferramentas e análises estatísticas sobreponham a outras práticas. Outro fato que pode ser inerente a este desequilíbrio e a própria falta de conhecimento sobre a metodologia *lean* integrada com outras ferramentas. Logo o desafio encontrado dentro das aplicações LSS em serviços nos artigos revisados pode estar em alguma dificuldade de combinar estas duas percepções sobre melhoria a contínua.

## 6. CONCLUSÃO

A partir da revisão, análise e discussão da literatura, pôde-se alcançar o objetivo desta pesquisa, mapear o estado da arte de como está evidenciada a adoção da metodologia *lean seis sigma* no setor de serviços. Destacando também que a classificação extensiva da literatura em diferentes parâmetros de análise atendeu o objetivo deste estudo.

A justificativa declarada para o objetivo deste trabalho foi da necessidade de expor como a adoção do LSS nos serviços acontece, de forma que explicasse como é o funcionamento da combinação destas duas abordagens presentes na literatura. Tal justificativa se confirmou aceitável ao longo das análises e discussões do estudo, visto que além da classificação da literatura, onde fora demonstrado os diversos usos da adoção LSS nos serviços, as análises e discussões forneceram um panorama de como essa dinâmica acontece na prática.

Uma das principais implicações da análise da literatura resultantes deste trabalho mostrou qual o roteiro de aplicação mais comum das ferramentas LSS dentro de diversos setores de serviços, quais os principais fatores para o sucesso da aplicação e em uma análise mais profunda, quais os indicadores de desempenho usar dependendo dos objetivos

de melhoria contínua desejados.

Foi discutido, com embasamento na análise da literatura, se a combinação entre *lean* e *seis sigma* de fato ocorre como deveria segundo outras revisões feitas sobre este assunto. Embora os artigos revisados alcancem excelentes resultados na adoção LSS, este ponto não muda o fato de que foram identificados limitações e desafios na manutenção do uso e do equilíbrio das duas abordagens.

O fator limitante deste trabalho foi o da escassez de artigos encontrados sobre o tema LSS em serviços. Apesar da grande quantidade de estudo que retornou das bases de pesquisas, o número de artigos revisados representa apenas 33% do total. Outro fato que pode ser considerado como limitante foi o acesso a um número maior de bases de dados.

A realização deste trabalho permitiu também identificar oportunidades de pesquisas futuras. A principal delas é o desenvolvimento de um modelo conceitual de aplicação LSS baseado nas análises da literatura feitas nesta RSL, principalmente no parâmetro modelos de práticas utilizados, adicionando mais ferramentas *lean* por meio da utilização do VSM em todas as etapas do roteiro DMAIC. Este modelo de aplicação poderia ser testado e medido em diferentes tipos de serviços para analisar sua eficácia e corroborar com outros paradigmas que envolvam o tema deste trabalho.

## Referências

- ALEEM, S. Translating 10 lessons from lean six sigma project in paper-based training site to electronic health record-based primary care practice: Challenges and opportunities. **Quality Management in Health Care**, v. 22, n. 3, p. 224-235, 2013.
- ALSUBAIE, B.; YANG, Q. Maintenance process improvement model by integrating LSS and TPM for service organisations. **Lecture Notes in Mechanical Engineering**, p. 13-24, 2017.
- ANTONY, J. et al. Lean Six Sigma in policing services: A case study from an organizational learning perspective. **International Journal of Productivity and Performance Management**, v. 67, n. 5, p. 935-940, 2018.
- BALL, S. L. et al. Adaptation of Lean Six Sigma Methodologies for the Evaluation of Veterans Choice Program at 3 Urban Veterans Affairs Medical Centers. **Medical Care**, v. 55, p. 76-83, 2017.
- BAZRKAR, A. et al. Total quality model for aligning organization strategy, improving performance, and improving customer satisfaction by using an approach based on combination of balanced scorecard and lean six sigma. **Cogent Business and Management**, v. 4, n. 1, 2017.
- BUMBLAUSKAS, D.; KALGHATGI, S. Order in the courts: propagating a culture of efficiency within the Irish Court Services. **Public Money and Management**, v. 38, n. 4, p. 271-280, 2018.
- CHAURASIA, B. et al. Lean Six Sigma application in healthcare of patients. **International Journal of Intelligent Enterprise**, v. 4, n. 3, p. 275-282, 2017.
- CHEN, M.; LYU, J. A Lean Six-Sigma approach to touch panel quality improvement. **Production Planning & Control**, v. 20, n. 5, p. 445-454, 2009.
- DEITHORN, A.; KOVACH, J. V. Achieving aggressive goals through Lean Six Sigma: A case study to improve revenue collection. **Quality Engineering**, v. 30, n. 3, p. 371-388, 2018.
- ERDMANN, T. P. et al. Quality quandaries: Improving the invoicing process of a consulting company. **Quality Engineering**, v. 22, n. 3, p. 214-221, 2010.

- FITZSIMMONS, J. A. **Administração de serviços: operações, estratégia e tecnologia da informação**. 7. ed. Porto Alegre: AMGH, 2014.
- FURTERER, S. L. Applying Lean Six Sigma methods to reduce length of stay in a hospital's emergency department. **Quality Engineering**, v. 30, n. 3, p. 389-404, 2018.
- GANGA, Gilberto Miller Devós. **Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) na Engenharia de Produção**. São Paulo: Atlas, 2012.
- IMPROTA, G. et al. Lean Six Sigma: a new approach to the management of patients undergoing prosthetic hip replacement surgery. **Journal of Evaluation in Clinical Practice**, v. 21, n. 4, p. 662-672, 2015.
- KEMPER, B. P. H. et al. Quality quandaries: Cost and quality in postal service. **Quality Engineering**, v. 23, n. 3, p. 302-308, 2011.
- KOVACH, J. V.; BORIKAR, S. Enhancing Financial Performance: An Application of Lean Six Sigma to Reduce Insurance Claim Denials. **Quality Management in Health Care**, v. 27, n. 3, p. 165-171, 2018.
- KOVACH, J. V. et al. Enhancing Information Sharing in Family Drug Courts: A Lean Six Sigma Case Study. **Juvenile and Family Court Journal**, v. 68, n. 3, p. 27-41, 2017.
- KUO, A. M. et al. A healthcare lean six sigma system for post anesthesia care unit workflow improvement. **Quality Management in Health Care**, v. 20, n. 1, p. 4-14, 2011.
- LAUREANI, A.; ANTONY, J. Reducing employees' turnover in transactional services: A Lean Six Sigma case study. **International Journal of Productivity and Performance Management**, v. 57, n. 17, p. 688-700, 2010.
- LAUREANI, A. et al. Lean six sigma in a call center: A case study. **International Journal of Productivity and Performance Management**, v. 59, n. 8, p. 757-768, 2010.
- LEE, K. -L. et al. Using LSS to improve the efficiency and quality of a refund process in a logistics center. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 5, n. 3, p. 324-340, 2013.
- MARTINS, R.A.; MELLO, C.H.P.; TURRIONI, J.B. **Guia para elaboração de monografia e TCC em engenharia de produção**. São Paulo: Atlas, 2014.
- MINISTÉRIO DA ECONOMIA, INDÚSTRIA, COMÉRCIO EXTERIOR E SERVIÇOS. **A importância do setor terciário**. Disponível em: <<http://www.mdic.gov.br/index.php/comercio-servicos/a-secretaria-de-comercio-e-servicos-scs/402-a-importancia-do-setor-terciario>>. Acesso em: 10 jun. 2019.
- MOLLA, M. et al. A lean six sigma quality improvement project improves timeliness of discharge from the hospital. **Joint Commission Journal on Quality and Patient Safety**, v.44, n. 7, p. 401-412, 2018.
- NAYAR, P. et al. Applying Lean Six Sigma to improve medication management. **International Journal of Health Care Quality Assurance**, v. 29, n. 1, p. 16-23, 2016.
- NEGRÃO, L. L. L.; GODINHO FILHO, M.; MARODIN, G. Lean practices and their effect on performance: a literature review. **Production Planning & Control**, v. 28, n. 1, p. 33-56, 2017.
- PACCAGNELLA, A. et al. Quality improvement for integrated management of patients with type 2 diabetes (PRIHTA project stage 1). **Quality Management in Health Care**, v. 21, n. 3, p. 146,159, 2012.
- SARKAR, S. A. et al. Improvement of claim processing cycle time through lean six sigma methodology. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 4, n. 2, p. 171-183, 2013.
- SHAMSUZZAMAN, M. et al. Using Lean Six Sigma to improve mobile order fulfilment process in a telecom service sector. **Production Planning and Control**, v. 29, n. 12, p. 1-14, 2018.
- SNEE, R. D. Lean Six Sigma – getting better all the time. **International Journal of Lean Six Sigma**, v.1, n. 1, p. 9-29, 2010.
- SU, C. -T. et al. Improving service quality by capitalizing on an integrated Lean Six Sigma methodology. **International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage**, v. 2, n. 1, p. 1-22, jan. 2006.
- SUNDER, M. V. Rejects reduction in a retail bank using Lean Six Sigma. **Production Planning and Control**, v. 27, n. 14, p. 1131-1142, 2016.

SUNDER, M. V. Synergies of Lean Six Sigma. **Journal of Operations Management**, v. 12, n. 1, p. 21-31, 2013.

THAWESAENSKULTHAI, N.; JARUMANEE, P. Improvement of Vehicle Service System by the Application of Lean Six Sigma. **Engineering Journal**, v. 20, n. 2, p. 159-178, 2016.

VINODH, S. et al. Implementing Lean Sigma in an Indian rotary switches manufacturing organization. **Production Planning & Control**, v. 22, n. 7, p. 708-722, 2012.

WANG, F. -K.; CHEN, K. -S. Applying Lean Six Sigma and TRIZ methodology in banking services. **Total Quality Management and Business Excellence**, v. 21, n. 3, p. 301-315, 2010.

ZWETSLOOT, I. M. et al. Quality quandaries: Increasing the first-time fix rate in a customer contact center. **Quality Engineering**, v. 27, n. 3, p. 393-400, 2015.

# CAPÍTULO 2

## **PRÁTICAS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NA ATIVIDADE AGRÍCOLA DE ORGÂNICOS**

*SUSTAINABLE DEVELOPMENT PRACTICES IN ORGANIC FARMING  
ACTIVITY*

**Amanda Medeiros Marques  
Giuliana Moreti Batista  
Flávio Silva Machado  
Mateus Carvalho Amaral  
Luiz Antônio de Oliveira Chaves  
Vanessa End de Oliveira**

## Resumo

O desenvolvimento sustentável é um assunto amplamente discutido e debatido nos governos e na sociedade. Analisar esse desenvolvimento sustentável é de extrema importância para encontrar problemas e estimar mudanças. Partindo desse princípio, o objetivo do projeto é apresentar proposições de indicadores baseados nas dimensões ambiental, social, econômica e institucional, que melhor representam a região de Cantagalo, área rural de Rio das Ostras (RJ). Esses indicadores foram propostos através da indicação dos estudos realizados pelo IBGE sobre indicadores de sustentabilidade do Brasil e modificados para se adequarem ao local de estudo, onde predomina a atividade da agricultura familiar na zona rural. Em seguida eles foram analisados e as melhorias foram propostas, com o objetivo de melhorar o desenvolvimento sustentável na região estudada.

**Palavras-chave:** Agricultura familiar, Desenvolvimento sustentável, Atividade agrícola, Alimentos orgânicos, indicadores de sustentabilidade.

## Abstract

Sustainable development is a subject widely discussed and debated in governments and society. Analyzing this sustainable development is extremely important to find problems and estimate changes. Based on this principle, the objective of the project is to present propositions of indicators based on the environmental, social, economic and institutional dimensions, which best represent the region of Cantagalo, rural area of Rio das Ostras (RJ). These indicators were proposed through the indication of studies carried out by IBGE on sustainability indicators in Brazil and modified to suit the study site, where family farming activity predominates in rural areas. Then they were analyzed and improvements were proposed, with the objective of improving sustainable development in the studied region.

**Keywords:** Family farming, Sustainable development, Agricultural activity, Organic food, Sustainability indicators.

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo o IBGE (2008), a agricultura familiar ocupa apenas 24,4% do território total usado para práticas agropecuárias. Apesar do pouco espaço ocupado, ela é responsável por 38% do valor total de produção do Brasil.

Segundo Paschoal (1994), a prática agrícola é um fator determinante para analisar o desenvolvimento sustentável de uma região. Nesse contexto, a criação de indicadores possui como objetivo apontar os problemas e mensurar as mudanças no desenvolvimento social, ambiental e econômico. Podendo ser também uma ferramenta de apoio para o acompanhamento e a tomada de decisão no processo de desenvolvimento sustentável local.

O presente projeto busca descobrir como melhorar o grau de sustentabilidade da agricultura familiar de Cantagalo/RJ onde predomina a prática do estilo agroecológico, através da criação de indicadores e critérios de avaliação que possam identificar e orientar no plano de ação de medidas públicas. Ainda, pretende-se analisar cada critério que compõe o indicador e pontuar conforme a metodologia proposta e propondo melhorias para os problemas relatados.

## 2. DELIMITAÇÕES

Este projeto irá propor apenas os indicadores mais relevantes, considerando a localização rural com predominância da atividade agrícola familiar. Os indicadores propostos são baseados nos indicadores de sustentabilidade criados pelo IBGE. Vale ressaltar que a avaliação de cada indicador foi realizada pelos próprios autores do projeto.

## 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 3.1 Agricultura familiar

Durante a década de 1960, o Brasil testemunhou a “Revolução Verde”, nela foram introduzidas novas tecnologias e máquinas agrícolas visando aumentar a produtividade, desconsiderando as questões ambientais (MOREIRA, 1999).

Conforme Denardi (2001), na década de 1980 o Brasil sofreu um processo de redemocratização, quando os movimentos sociais se reorganizaram e surgiu a categoria da agricultura familiar. Podemos definir agricultura familiar como “uma unidade de produção onde propriedade e trabalho estão intimamente ligados à família” (SAVOLDI; CUNHA, 2010). Cerca de 84% dos produtores rurais brasileiros vivem em pequenas propriedades e produzem grande parte dos alimentos, como 84% da mandioca, 70% do feijão e 58% dos suínos consumidos no Brasil (SAVOLDI; CUNHA, 2010).



Essa categoria passou a ser conhecida pelo Estado e na década de 1990 surgiu o Programa Nacional de Desenvolvimento da Agricultura Familiar (PRONAF), programa governamental que custeia crédito aplicado na produção agrícola familiar, infraestrutura e capacitação dos produtores rurais familiares (DENARDI, 2001). Seu objetivo é atender principalmente ao modelo de transição e periférico, aumentando sua capacidade produtiva, gerando empregos, melhoria de renda, qualidade de vida e favorecendo o acesso desses agricultores ao mercado consumidor (PRONAF, 1994). Ehlers (2008) enfatiza que uma agricultura sustentável é de grande importância para o fortalecimento e o crescimento da agricultura familiar.

### **3.2 Agricultura orgânica**

Agricultura orgânica se traduz como um processo produtivo de alimentos com a finalidade de garantir a saúde dos seres humanos enquanto mantém o solo, a água e a biodiversidade em harmonia (AAO, 2016). Ou seja, uma produção livre de produtos químicos como fertilizantes e agrotóxicos. As normas legais previstas pela Lei Federal 10.831 e as oito Instruções Normativas do Ministério da Agricultura e Pecuária são os requisitos para um produto receber o certificado de orgânico (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 2016).

### **3.3 Mercado produtor orgânico mundial**

Em 2019, havia 72,3 milhões de hectares de terras com plantações orgânicas em 2019, registrando um crescimento de 1,6% à 2018. Representando 49,8% do total, a Oceania é a região com mais terras agrícolas orgânicas, seguida da Europa (22,82%) e América Latina (11,48%). E o país com o maior mercado de orgânicos foram os Estados Unidos (€ 44.700.000.000), seguido pela Alemanha (€12.000.000.000) e França (€11.300.000.000) (FiBL – IFOAM, 2019).

Representando o maior mercado da Ásia, o Japão possui consumidores que conhecem os produtos orgânicos e além de importar, o país também produz diversos produtos. A China também se destaca na produção e apesar da demanda estar aumentando, a maioria dos produtos certificados são voltados para a exportação. O consumo e a produção de orgânicos também cresceu em países de baixa renda, principalmente por a produção estar localizada em comunidades regionais (BUAINAIN & BATALHA, 2007).

### **3.4 Mercado produtor orgânico brasileiro**

No Brasil, assim como na maioria do mundo, a quantidade de dados sobre a agricultura orgânica é escassa, devido a falta de um órgão federal dedicado ao mesmo. O estado com maior controle, Pará, possui uma pesquisa anual realizada há apenas seis anos pelas secretarias estaduais de agricultura (BUAINAIN & BATALHA, 2007).

Uma pesquisa realizada pelo FiBL em 2014 destaca a Argentina como primeiro lugar em área orgânica entre os países em desenvolvimento, já o Brasil fica em quinto colocado (FiBL; IFOAM 2016), com 60% de sua produção sendo exportado principalmente para os Estados Unidos e União Europeia (IBGE, 2006).

No Censo Agropecuário (IBGE, 2006), foi constatado a produção de orgânicos por setor da atividade econômica. Obteve destaque o crescimento no setor de horticulturas, devido a facilidade na comercialização e o aumento de postos de venda que oferecem esses alimentos nas metrópoles.

De 2014 para 2015 o número de produtores orgânicos no Brasil apresentou um aumento significativo de 51,7%. As regiões com maior concentração de produtores é a região Nordeste (acima de 4 mil), seguida da região Sul (2.865) e Sudeste (2.333). Foi constatado também que o número de unidades de produção aumentou em 32% nesse período, além de um acréscimo da área total de produção para 950.000 hectares (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 2016).

Segundo o Ministério da Agricultura (2016), a agricultura orgânica movimentou cerca de R\$ 2 bilhões em 2014, um número ainda pouco expressivo, correspondendo a apenas 0,4% do total produzido no país, contudo com expectativa de alcançar 2,5 bilhões em 2016. Apesar da legislação nacional de orgânicos ter entrado em vigor somente em 2011, o mercado de orgânicos brasileiro vem crescendo a uma taxa de 40% ao ano, média muito superior a maioria dos países (STRUCK, 2015).

Struck (2015) diz que o mercado brasileiro de orgânicos é composto praticamente por pequenos e médios agricultores e extrativistas familiares, com mais de 400 feiras livres espalhadas pelo país. Porém, iniciativas de grandes empresas do varejo já começaram a surgir, como *Walmart* e *Carrefour*, que oferecem atualmente centenas de produtos orgânicos através da criação de marcas próprias.

### 3.5 Distribuição dos produtos orgânicos

Para Silva (1999), distribuição é o caminho que o produto percorre da sua concepção até o seu destino final, que é o consumidor.

Na década de 1990, a comercialização dos orgânicos era somente através de feiras ou lojas especializadas em produtos naturais. Só no final da última década que os meios de distribuição se expandiram para supermercados (BNDES, 2002).

Atualmente existem diversas formas de se comercializar um produto orgânico, sendo os principais: feiras orgânicas, entregas à domicílio, vendas pela internet e supermercados. Entre esses canais de distribuição, a concentração no Brasil é por meio de redes varejistas, com 77% das vendas. Ainda, ressalta-se a importância das feiras orgânicas como canal de distribuição, dado sua presença por todo o país e por ajudarem a impulsionar a agricultura familiar, responsável por 80% da produção de orgânicos no Brasil (IBGE, 2006). O Sudeste é a região com maior concentração de pontos de vendas de orgânicos (50%), com destaque para São Paulo, seguido da região Sul (44%) (SEBRAE RJ, 2004).



Atualmente a demanda é maior do que a oferta, e um dos fatores é o preço elevado. Em 2000, um levantamento dos preços praticados no Brasil de 60 produtos constatou que mais da metade deles possuem uma diferença de 100% a mais que o mesmo produto convencional. Nos países europeus essa diferença foi entre 14% e 50% (BNDES, 2002).

### **3.6 Desenvolvimento sustentável**

Entre os anos de 1945 e 1950, o termo sustentabilidade surgiu no pós-guerra. Em 1987, esse conceito se consolidou na Comissão Mundial do Meio Ambiente e Desenvolvimento onde foi definido o relatório Nosso Futuro Comum (1991), que determina o desenvolvimento sustentável como "um processo de transformação no qual a exploração dos recursos, a direção dos investimentos, a orientação do desenvolvimento tecnológico e a mudança institucional se harmonizam e reforçam o potencial presente e futuro, a fim de atender às necessidades e aspirações humanas".

O relatório ainda determina que o desenvolvimento sustentável deve obedecer a 4 parâmetros: preservação da natureza, eliminação da pobreza, crescimento econômico e garantia das necessidades das gerações futuras (NOSSO FUTURO COMUM, 1991).

### **3.7 Indicadores de sustentabilidade**

Os indicadores de sustentabilidade mostram diferentes aspectos para uma melhor compreensão do avanço da sustentabilidade, assim, eles são responsáveis por orientar e direcionar indivíduos, empresas e outros órgãos (BELLEN, 2006).

Várias instituições ao redor do mundo constroem indicadores de sustentabilidade, no Brasil o órgão responsável é o IBGE (BELLEN, VAN, 2005). A dificuldade de criar indicadores é complexa pelo fato do desenvolvimento sustentável ser multidimensional e dinâmico, assim não existe indicadores definitivos visto que variam conforme o local de estudo (BENETTI, 2006). Segundo Van Bellen (2005), os indicadores podem ser qualitativos ou quantitativos, adotando sempre o mais adequado para a pesquisa.

## **4. CANTAGALO**

### **4.1 Características socioeconômicas**

A agricultura familiar de Cantagalo está localizada na região rural do município de Rio das Ostras. Segundo o IBGE (2016), a estimativa da população do município é de 136.626 habitantes. Na população rural, são cerca de 500 produtores rurais, com 104 propriedades no total, sendo o restante moradores e veranistas. A região é abastecida pela micro-bacia do rio Jundiaí, que nasce na Serra do Pote e encontra o Rio Iriry. Devido à estiagem de 2014 e 2015, o volume de água do rio Jundiaí e dos córregos foram prejudicados, por

isso grande parte da população faz o uso de poços artesianos e de cacimbas para o consumo humano e animal.

A maior parte da área de Cantagalo tem o relevo classificado como plano e áreas com grande potencial de plantio (em média 68%). Cerca de 17% do total são áreas com potencial para o cultivo de culturas anuais e perenes, 7% com potencial para somente o plantio de culturas perenes, 4,5% são áreas com limitações para o plantio indicando sistemas agroflorestais e 1,5% representa área de preservação permanente.

## 4.2 Característica produtiva e de distribuição

As principais atividades econômicas desenvolvidas são agricultura e pecuária. O Projeto Feijão foi criado em 2005 pela secretaria municipal do Ambiente, Sustentabilidade, Agricultura e Pesca visando tornar o feijão seu alimento com maior destaque, e recebe incentivos da prefeitura, como sementes e maquinário para os pequenos agricultores aumentarem a colheita. Na agricultura, o tipo de plantio desenvolvido é o agroecológico e na pecuária é o tradicional. O plantio utiliza majoritariamente o fertilizante natural no cultivo.

Atividade Agrícola	Área (ha)	Nº Produtores	Unidade Produção	Produção
Feijão	46,55	48	Ton. /Ano	19,985
Milho	39,15	32	Ton. /Ano	...
Aipim	19,04	23	Ton. /Ano	63,45
Couve	0,13	1	Ton. /Ano	2,9
Banana	7,4	8	Ton. /Ano	31,4
Laranja	0,3	2	Ton. /Ano	3
Quiabo	3,29	7	Ton. /Ano	13,7
Alface	0,21	1	Ton. /Ano	15,7
Maracujá	0,92	1	Ton. /Ano	1,06
Coco	3,377	7	Ton. /Ano	26590
Uva	0,3	1	Ton. /Ano	0,5
Abobora	1	2	Ton. /Ano	...
Abacaxi	0,35	1	Ton. /Ano	10,4

Tabela 1 – Atividade agrícola desenvolvida em Cantagalo

Fonte: Elaborado pelos autores

Na agricultura, o milho e a abóbora não tiveram sua produção anual apurada. A maior parte dos agricultores demonstram interesse em mudar as técnicas utilizadas atualmente para o plantio de orgânicos. Alguns poucos já estão em processo de certificação e uma agricultora já comercializa orgânicos certificados na feira. As mudanças para os outros agricultores seriam poucas, visto que a produção está em fase de transição, pouco dependente de produtos químicos.

Atividade Pecuária	Unidade Pecuária	Quant.	Nº Produtores	Unidade Produção	Produção
Bovinos (Leite)	Reb. Cab.	538	19	litros/ano	428.757
Bovinos (Corte)	Reb Cab	128	5	arrob / ano	...
Caprinos	Reb Cab	37	6	kg/ano	...
Ovinos	Reb Cab	66	6	kg/ano	2.220
Suínos	Reb Cab	343	16	kg/ano	10.250
Aves (ovos)	Reb Cab	2869	42	dz/ano	20.128
Aves (pato)	Reb Cab	372	12	kg/ano	477
Aves (ganso)	Reb Cab	56	5	Cab	...
Coelhos	Reb Cab	280	3	kg/ano	1.030
Abelhas	Colméia	164	9	kg/ano	2.311
Codornas (ovos)	Reb Cab	100	1	dz/ano	2.430

Tabela 2 – Atividade agropecuária desenvolvida em Cantagalo  
Fonte: Elaborado pelos autores

A produção de ganso e de corte bovino não foram apurados. O sistema de ordenha tem destaque, o leite é usado principalmente na produção de queijo.

<b>Características da região de Cantagalo</b>	
Agricultores	500 produtores, divididos em 104 propriedades.
Água	Região abastecida pela microbacia do rio Jundiá.
Principal atividade da região	Agricultura familiar.
Educação	Carência em escolas de ensino médio. Oferta de cursos profissionalizantes para os produtores locais.
Saúde	Possui um posto de saúde, com carência em médicos com
Lazer	Manifestações culturais como a "Festa da Colheita" e a "Cavalgada do Trabalhador".
Segurança	Existe um posto policial, porém falta atendimento quando solicitado.
Produção agrícola	Produção agroecológica. Comercializado através de feiras e usado como meio de subsistência.
Saneamento básico	A maioria das residências possuem esgoto sanitário, porém poucas possuem tratamento adequado desse
Coleta de lixo	O lixo doméstico é coletado 3 vezes na semana.
Crédito rural	Poucos produtores têm acesso ao crédito rural.
Telefonia / Internet	Ausência de rede de telefonia fixa e de internet.

Tabela 3 – Características da região de Cantagalo  
Fonte: Elaborado pelos autores

## 5. ANÁLISE DA SUSTENTABILIDADE

### 5.1 Coleta de dados

Os dados colhidos foram obtidos através de entrevistas com 65 agricultores familiares de Cantagalo (ANEXO B) realizada pela Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural (Emater) no segundo semestre de 2015. Além de entrevista realizada com o responsável pelo escritório da Emater em Rio das Ostras, para um maior esclarecimento dos dados colhidos e possíveis soluções para os problemas relatados.

### 5.2 Indicadores

Após a obtenção dos dados, os indicadores e os grupos foram criados baseados nos indicadores definidos pelo IBGE na sua publicação de 2015, adaptando-os conforme necessário e analisando somente os mais relevantes para a região em questão. Após a criação dos indicadores e dos grupos, cada indicador foi classificado no grupo mais adequado.

Ao todo foram identificados 18 indicadores de aspectos mais relevantes, classificados em 10 grupos, divididos em 4 dimensões: Ambiental, Social, Econômica e Institucional.

O estudo dos indicadores possuiu uma abordagem qualitativa, com avaliação através de uma escala. A mesma é composta por 4 faixas de desempenho cada uma com um peso, conforme tabela abaixo.

Escola	Peso
Inexistente (insustentável)	0
Fraco (intermediário)	1
Moderada (potencialmente sustentável)	2
Forte (sustentável)	3

Tabela 4 – Escala de desempenho e pesos  
Fonte: Adaptado de Ko (2005 apud Sanches et al, 2016)

Os indicadores foram analisados através das entrevistas, onde os indicadores foram classificados na faixa mais adequada da escala. Após, esses dados foram convertidos em porcentagem facilitando a comparação das dimensões estabelecidas.

Para os indicadores que não receberam pontuação 3, foi realizado uma análise de melhoria e as medidas à serem tomadas. Essas medidas foram definidas juntamente com o responsável da Emater e através de estudos nos documentos cedidos.

<b>DIMENSÃO SOCIAL DA SUSTENTABILIDADE</b>			
<b>Educação</b>	<b>Saúde</b>	<b>Lazer</b>	<b>Segurança</b>
Oferta de cursos de aperfeiçoamento	Oferta de serviços básicos de saúde	Oferta de serviços de lazer	Atendimento policial
Taxa de frequência escolar	-	-	-
<b>DIMENSÃO AMBIENTAL DA SUSTENTABILIDADE</b>			
<b>Terra</b>	<b>Água Doce</b>	<b>Saneamento</b>	
Uso de fertilizantes	Qualidade de águas interiores	Acesso ao abastecimento de água	
Uso de agrotóxicos	-	Acesso a serviço de coleta de lixo doméstico	
Desmatamento	-	Acesso ao esgotamento sanitário	
-	-	Tratamento de esgoto	
<b>DIMENSÃO ECÔNOMICA DA SUSTENTABILIDADE</b>			
<b>Renda</b>	<b>Vendas agrícolas</b>		
Renda per capita mensal	Mercado consumidor		
-	Acesso ao crédito rural		
<b>DIMENSÃO INSTITUCIONAL DA SUSTENTABILIDADE</b>			
<b>Capacidade institucional</b>			
Acesso aos serviços de telefonia			
Acesso à internet			

Tabela 5 – Dimensões da sustentabilidade  
 Fonte: Elaborado pelos autores

## 5.3 Análise da sustentabilidade

Como cada dimensão tem uma quantidade de indicadores diferentes, a pontuação também será diferente. Para critérios de comparação, foi feita a porcentagem que os indicadores alcançaram em relação a pontuação máxima possível (caso todos os indicadores fossem sustentáveis).

Dimensão	Pontuações máximas possíveis	Pontuações realizadas	%
Social	15	11	73,33%
Ambiental	24	16	66,67%
Econômico	9	4	44,44%
Institucional	6	2	33,33%
Total	54	33	61,11%

Tabela 6 – Atividade agropecuária desenvolvida em Cantagalo  
Fonte: Elaborado pelos autores

A dimensão social foi a melhor avaliada, com destaque para o indicador cursos profissionalizantes e lazer que obtiveram nota máxima.

No desempenho ambiental, os indicadores que obtiveram baixas pontuações e merecem atenção são: a qualidade da água do rio que abastece a região e o tratamento de esgoto residencial.

O pior desempenho foi na dimensão institucional, com pontuação menor que 50% do total de pontos disponíveis.

A dimensão econômica também obteve baixa pontuação, apresentando 44,44% do total. Os indicadores acesso ao crédito rural e mercado consumidor apresentaram baixas pontuações.

No total, foram obtidos 61,11% da pontuação máxima. Uma pontuação razoável, porém, com muitas melhorias para serem implementadas.

## 5.4 Proposição de melhorias

As duas dimensões com piores pontuações foram a econômica e a institucional. Como a institucional requer medidas solicitadas à órgãos públicos, no projeto será priorizado as melhorias para a dimensão econômica.

### 5.4.1 Dimensão social

- Taxa de frequência escolar: realização de um censo na região com a orientação da Secretaria Municipal de Educação para verificar a real demanda de escolas buscando atendê-la;

- b) Oferta de serviços básicos de saúde: reivindicar através de um ofício na Secretaria de Saúde e encaminhar um pleito para a prefeitura aumentar o número de médicos no posto de saúde;
- c) Segurança: requisitar a ronda dos policiais militares e guardas municipais para melhor atender a demanda.

### **5.4.2 Dimensão ambiental**

- a) Uso de agrotóxicos: incentivar a produção de orgânicos através de palestras, cursos com técnicas orgânicas e fornecimento de incentivos para a certificação orgânica;
- b) Desmatamento: conscientização da comunidade através de palestras educativas nas escolas e para os agricultores. Divulgar a importância da denúncia dos infratores;
- c) Qualidade de águas interiores: solicitar a orientação da secretaria do Meio Ambiente para o tratamento da água do rio Jundiá e solucionar o problema de falta de esgoto nas residências da região;
- d) Acesso ao esgotamento sanitário: instalação de fossas sépticas biodigestoras nas residências que não possuem, e realização de palestras para a conscientização da população sobre os danos à saúde e ao meio ambiente caso o solo e a água sejam contaminados pelo esgoto.
- e) Tratamento de esgoto: informar a população sobre a manutenção correta das fossas sépticas.

### **5.4.3 Dimensão econômica**

- a) Renda per capita mensal: aumentar o número de vendas dos produtos agrícolas, através do aumento do mercado consumidor;
- b) Mercado consumidor: aumentar através de parcerias com varejistas locais;
- c) Acesso ao crédito rural: solicitar o auxílio ao Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária para legalização das terras.

### 5.4.4 Dimensão instituição

- a) Acesso aos serviços de telefonia: Como a telefonia fixa não existe, solicitar à Secretaria de Estado de Ciência, Tecnologia e Informação (SECTI) quais medidas deverão ser tomadas para a instalação da rede fixa na região;
- b) Acesso à internet: solicitar o suporte da SECTI para implementar as ações necessárias.

## 6. ANÁLISE DO MERCADO DE ORGÂNICOS

A análise da empresa foi realizada utilizando os métodos de observação direta, pesquisas com os consumidores e entrevistas com o gerente da unidade. A partir desta, foi possível entender sobre a distribuição dos produtos orgânicos e o conhecimento dos clientes de um hortifrúti sobre a agricultura familiar de Cantagalo, visando propor a inserção dos produtos de Cantagalo no hortifruti analisado e conseqüentemente melhorar a dimensão econômica.

### 6.1 A empresa

A empresa foi criada no ano de 1989 em Colatina, município do Espírito Santo. Com mais de 34 lojas espalhadas por todo o Espírito Santo, Rio de Janeiro e São Paulo, possui mais de 1,8 milhão de clientes por mês e dispõe de uma equipe com mais de 5 mil colaboradores.

Localizada no município de Rio das Ostras a unidade atende a região dos Lagos junto com a unidade localizada em Cabo Frio e Macaé.

Com a responsabilidade de oferecer aos seus clientes uma forma prática de comprar hortaliças, cultivando o prazer de uma alimentação saudável, atualmente ela é a maior rede varejista de hortifrutigranjeiros do Brasil.

#### 6.1.1 Perfil consumidor

Os consumidores de produtos orgânicos têm aumentado cada vez mais sua parcela no mercado.

Foi aplicado um questionário (ANEXO A) aos clientes do hortifruti para o levantamento de algumas características importantes e para verificar a aceitação aos produtos da agricultura familiar. No total foram aplicados 50 questionários, 33 mulheres e 17 homens no total. A seguir, os principais dados extraídos:



- a) O consumo de produtos orgânicos é um mercado em ascensão, por isso o alto número de consumidores esporádicos. Esses consumidores que compram uma vez por mês, tem o hábito de consumir os orgânicos somente através das hortaliças, legumes e frutas mais comuns e mais fáceis de se encontrar.



Gráfico 1 - Frequência na compra de orgânicos  
Fonte: Elaborado pelos autores

- b) O preço foi relatado por todos como a maior dificuldade de se consumir orgânicos, estando também relacionado ao consumo de uma vez por mês e não periodicamente. Em segundo lugar foi o local da compra, pois são poucos os hortifrutis que oferecem esse tipo de produto.



Gráfico 2 - Dificuldades para comprar orgânicos  
Fonte: Elaborado pelos autores

- c) São 19 clientes (38%) que conhecem a agricultura de Cantagalo, porém nunca consumiram nenhum produto originado lá e 14 (28%) já consumiram. Mas todos os 50 clientes demonstraram interesse em experimentar ou voltar a comprar produtos da agricultura familiar.

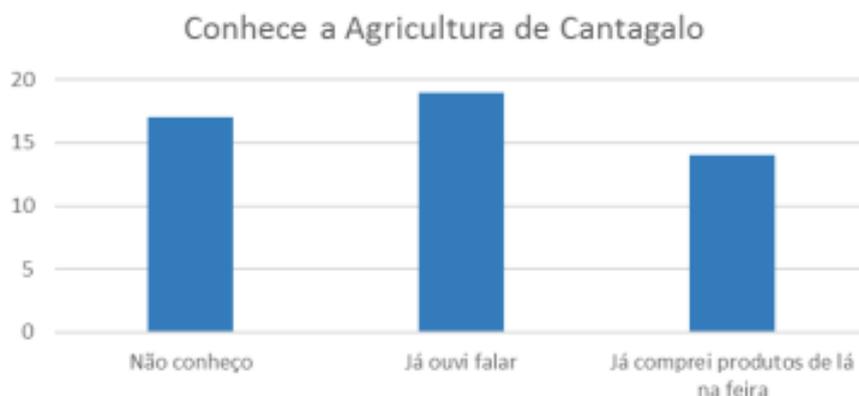


Gráfico 3 - Conhece a Agricultura de Cantagalo  
 Fonte: Elaborado pelos autores

- d) Para os clientes que já consumiram os produtos de Cantagalo, o maior problema relatado foi o local de venda, pois os produtos da agricultura familiar só estão disponíveis nas feiras localizadas no centro e em Cantagalo.

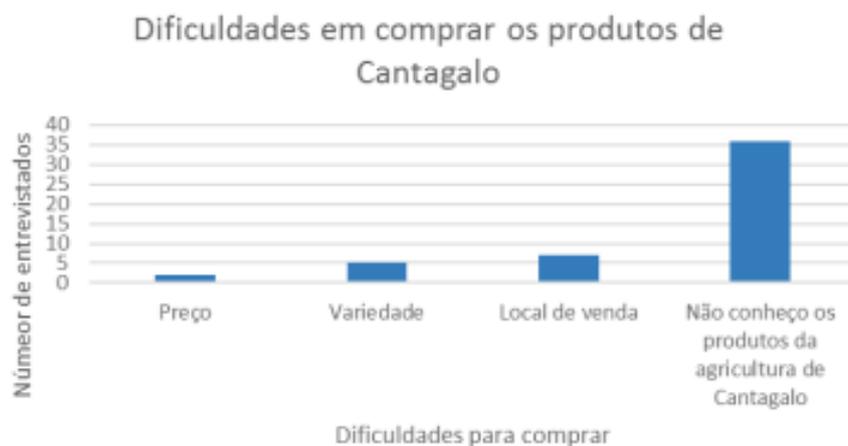


Gráfico 4 - Dificuldades para comprar produtos de Cantagalo  
 Fonte: Elaborado pelos autores

## 6.2 Análise final

Analisando todos os dados colhidos, podemos extrair algumas características:

- Os produtos orgânicos percorrem um caminho longo da sua produção até o ponto final da comercialização;
- A parcela de consumidores de orgânicos está crescendo cada vez mais;
- As principais dificuldades em comprar orgânicos são os preços e o local de comercialização;
- Poucos clientes já consumiram produtos da agricultura familiar de Cantagalo, porém todos os clientes responderam que têm interesse em experimentar ou de voltar a comprar no caso dos que já conhecem;

- e) Para os clientes que conhecem a agricultura de Cantagalo, a maior dificuldade para continuar comprando é frequentar as feiras que oferecem os produtos.

## 7. CONCLUSÃO

Esse projeto analisou a sustentabilidade da região de Cantagalo, com foco na principal atividade econômica da região, a prática da agricultura familiar. Foram propostos indicadores de sustentabilidade para melhor analisar a região, além de estimá-los conforme a escala da metodologia proposta. Essa avaliação foi realizada através dos dados levantados em pesquisas a documentos e entrevistas realizadas com os produtores locais. Com a análise dos indicadores os problemas foram identificados, a fim de propor melhorias para o aumento da sustentabilidade local.

Ficou claro com as análises que o aspecto econômico necessita de ações eficazes a fim de melhorar a qualidade de vida da comunidade local. A melhoria econômica apresentada é de grande importância para a região, alavancando toda a agricultura.

A parceria proposta com o hortifrúti proporciona aos agricultores familiares visibilidade no mercado, a fidelidade de uma grande rede de hortifrúti, com a vantagem de ter uma venda mínima fixa no mês. O hortifrúti por sua vez, poderá ofertar produtos locais, com possível aumento de vendas devido ao aparecimento de novos cliente interessados nos produtos orgânicos, ainda estaria contribuindo para a sustentabilidade da região onde ele está instalado, servindo como marketing para a rede local. Além da diminuição do tempo gasto com a logística, pois o produtor se encontra próximo a unidade que irá comercializar os produtos.

Por fim, é importante ressaltar que o assunto sustentabilidade é muito amplo, englobando vários assuntos ao mesmo tempo, sendo que as técnicas aqui empregadas podem ser melhoradas e aprofundadas.

Com o intuito de enriquecer o projeto, recomenda-se avaliar os indicadores na forma quantitativa, trazendo mais confiabilidade e uma melhor estimativa da sustentabilidade no cenário analisado. Aconselha-se também o uso de uma ferramenta que mais se adequa ao local para analisar os dados, como o Ecological Footprint Method, Dashboard of Sustainability, entre outros. Com o intuito de continuar a busca por melhorias para os indicadores do presente projeto, recomenda-se um estudo detalhado sobre quais são os requisitos e medidas que a agricultura familiar de Cantagalo precisa cumprir para se adequar e então receber o certificado de orgânico.

## Referências

AAO - Associação de Agricultura Orgânica. **Homepage**. Disponível em <http://aao.org.br/aao/>. Acesso em: 10 julho 2016.

BANCO, Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social. **Relatório anual 2002**. Disponível em: <http://>

www.bndes.gov.br/bibliotecadigital. Acesso em 14 de nov. 2016

BENETTI, Luciana Borba et al. **Avaliação do índice de desenvolvimento sustentável (IDS) do município de Lages/SC através do método do painel de sustentabilidade**, 2006

BUAINAIN, Antônio Márcio et al. (Ed.). **Cadeia produtiva de frutas**. Bib. Orton IICA/CATIE, 2007.

COMUM, Nosso Futuro. **Comissão mundial sobre meio ambiente e desenvolvimento**. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1991

DAROLT, Moacir Roberto. **As dimensões da sustentabilidade: um estudo da agricultura orgânica na região metropolitana de Curitiba, Paraná**. 2000. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná, Curso de Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento.

DENARDI, Reni Antonio. **Agricultura familiar e políticas públicas: alguns dilemas e desafios para o desenvolvimento rural sustentável**. Agroecologia e desenvolvimento rural sustentável, Porto Alegre, v. 2, n. 3, p. 56-62, 2001.

EHLERS, E. **Agricultura sustentável: origens e perspectivas de um novo paradigma**. São Paulo: Agropecuária, 2008.

FIBL - IFOAM. **The World of Organic Agriculture. Statistics and Emerging Trends. Report, Research Institute of Organic Agriculture (FIBL) and IFOAM–Organics International**, 2016

INSTITUTO, Brasileiro de Geografia e Estatística. **Indicadores de desenvolvimento sustentável: Brasil 2015**. IBGE, 2015.

INSTITUTO, Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário 2006**. IBGE, 2006.

SAVOLDI, Andréia; CUNHA, Luiz Alexandre. **Uma abordagem sobre a agricultura familiar, Pronaf e a modernização da agricultura no Sudoeste do Paraná na década de 1970**. Revista Geografar, v. 5, n. 1, 2010.

Ministério da Agricultura. **Número de Produtores Orgânicos cresce 51,7% em um ano**. Site oficial. Disponível em <http://www.agricultura.gov.br/comunicacao>. Acesso em 08 de setembro 2016.

MOREIRA, Roberto José. **Agricultura familiar: processos sociais e competitividade**. Rio de Janeiro: Mauad, 1999.

PASCHOAL, Adilson D. **Produção orgânica de alimentos: agricultura sustentável para os séculos XX e XXI**. 1994.

Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar. PRONAF - **Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar**. Disponível em <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/pronaf>. Acesso em 08 de setembro 2016.

VAN BELLEN, H. M. **Indicadores de sustentabilidade: uma análise Comparativa**. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2005.

SILVA, C. A. B.; BATALHA, M. O. **Competitividade em Sistemas Agroindustriais: Metodologia e Estudo de Caso**. In: II Workshop Brasileiro Sobre Gestão de Sistemas Agroalimentares. Ribeirão Preto. Ribeirão Preto: FEARP/USP, 1999.



## ANEXO A

- 1) **Sexo:**
  - a. Feminino
  - b. Masculino
- 2) **Faixa etária**
  - a. Até 25 anos
  - b. De 26 a 40 anos
  - c. De 41 a 60 anos
  - c. Mais de 61 anos
- 3) **Faixa salarial:**
  - a. Até R\$ 1.500,00
  - b. De R\$ 1.500,00 a R\$ 3.000,00
  - c. De R\$ 3.000,00 a R\$ 5.000,00
  - d. Mais de R\$ 5.000,00
- 4) **Você compra produtos orgânicos com qual frequência?**
  - a. Nunca
  - b. 1 vez por mês
  - c. 2 vezes por mês
  - d. Toda semana
- 5) **Duas principais dificuldades encontradas para consumir orgânicos?**
  - a. Preço
  - b. Variedade
  - c. Local de compra
  - d. Oferta
- 6) **Conhece a Agricultura Familiar de Cantagalo?**
  - a. Não conheço
  - b. Já ouvi falar
  - c. Já comprei produtos de lá na feira
- 7) **Teria interesse em experimentar ou comprar novamente os produtos de Cantagalo?**
  - a. Sim
  - b. Não
- 8) **Qual a principal dificuldade em comprar produtos da agricultura de Cantagalo?**
  - a. Preço
  - b. Variedade
  - c. Local de venda
  - d. Não conheço os produtos da agricultura de Cantagalo

## ANEXO B

1. Nome do produtor:
2. Idade:
3. Quantos membros da sua família moram e trabalham com você?
4. A quantidade de escolas e creches são suficientes para a comunidade?
5. E a quantidade de médicos atendem as necessidades da comunidade?
6. São oferecidos cursos de capacitação técnica na comunidade?
7. Quais as manifestações culturais (Festas, Datas comemorativas, Folclore, etc.) mais importantes da comunidade?
8. O atendimento policial é eficiente?
9. Na sua residência, o sistema Embrapa está instalado para o tratamento de esgoto?
10. As vans para o centro da cidade passam em horários regulares?
11. Quantos tipos de produtos você produz?
12. Você utiliza agrotóxicos e fertilizantes na produção agrícola?
13. Ainda ocorre o corte de árvores com frequência na comunidade?
14. A coleta de lixo domiciliar é realizada com frequência?
15. Você recebe algum incentivo da prefeitura para comprar ração para os animais e maquinários?
16. Você possui acesso ao crédito rural?
17. Como você escoar a sua produção? Feira, entrega à domicílio e outros.
18. Qual a Organização mais importante na Comunidade? Conselho Municipal de Desenvolvimento Rural Sustentável e da Pesca (CMDRSP), Sindicato dos Trabalhadores Rurais de Rio das Ostras ou Presidente da Associação dos Produtores Rurais de Rio das Ostras.

# CAPÍTULO 3

## **DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE BICICLETAS COMPARTILHADAS PARA O MUNICÍPIO DE RIO DAS OSTRAS**

*SIZING A BICYCLE SYSTEM SHARED FOR THE MUNICIPALITY OF RIO  
DAS OSTRAS*

**Olivia Amaral Perdigão  
Anne Beatriz Ferreira da Costa  
Flávio Silva Machado  
Maria Helena Teixeira da Silva  
Ana Paula Barbosa Sobral  
Mateus Carvalho Amaral**

## Resumo

O aumento da quantidade de veículos motorizados em circulação nas grandes cidades tem se tornado um problema de mobilidade urbana cada vez mais presente. Dentre as opções menos onerosas ao trânsito e ao meio ambiente, os Sistemas de Bicicletas Compartilhadas surgem como alternativa de mobilidade de baixo custo. A cidade de Rio das Ostras está entre os municípios que mais cresceram no país nos últimos anos. Na tentativa de se antever aos problemas provindos do crescimento rápido, o município traçou estratégias de desenvolvimento da mobilidade urbana da cidade que destaca o uso de bicicletas. Diante disso, o artigo visa analisar se há condições favoráveis a implantação de um Sistema como este no município de Rio das Ostras. A partir da pesquisa de mobilidade urbana realizada pela prefeitura de Rio das Ostras, este estudo utilizou a estratificação de dados e a inferência estatística para determinar a demanda potencial pelo serviço. Após isso, pôde definir o tamanho do sistema em 128 bicicletas, 256 vagas e 30 estações. Conclui-se que o município tem grande potencial para implantação do serviço com perfil da demanda voltado ao lazer e ao turismo.

**Palavras-chave:** Bicicletas compartilhadas; Previsão da demanda; Mobilidade urbana; Inferência estatística.

## Abstract

The increase in the number of motor vehicles in circulation in large cities has become an increasingly present urban mobility problem. Among the less costly options for traffic and the environment, Bicycle Share Systems emerge as a low-cost mobility alternative. The city of Rio das Ostras is among the cities that grew the most in the country in recent years. In an attempt to anticipate the problems arising from rapid growth, the municipality outlined strategies for the development of urban mobility in the city that emphasizes the use of bicycles. Therefore, the article aims to analyze whether there are favorable conditions for the implementation of a System like this in the municipality of Rio das Ostras. Based on the urban mobility survey carried out by the city of Rio das Ostras, this study used data stratification and statistical inference to determine the potential demand for the service. After that, he was able to define the size of the system at 128 bicycles, 256 spaces and 30 stations. It is concluded that the municipality has great potential for the implementation of the service with a demand profile aimed at leisure and tourism.

**Keywords:** Bike sharing; Demand forecasting; Urban mobility; Statistical inference.

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo a Política Nacional de Mobilidade Urbana (PNMU) apoiada na Lei Federal nº 12587/2012, o aumento na oferta de transporte não motorizados e de baixo custo integra o modelo de replanejamento da mobilidade urbana nas cidades de médio e grande porte. O incentivo ao uso de transportes não motorizados está ligado a priorização de pedestres e ciclistas na PNMU (BRASIL, 2012).

Um dos principais pilares da PNMU consiste nos Planos Cicloviários que têm por objetivo nortear as etapas de implantação de infraestrutura cicloviária nas cidades brasileiras. Estas políticas incentivaram os poderes municipais a aumentarem os investimentos nas redes cicloviárias nos últimos anos. Com isso, um novo modelo de negócio denominado Sistema de Bicicletas Compartilhadas ou *Bike Share Systems* (BSSs), ganhou espaço no Brasil através do interesse de empresas em estabelecer convênios com o poder público para a oferta do serviço.

Os BSSs são um dos modelos de transporte que crescem mais rapidamente em todo o mundo. Presente em poucas cidades até os anos 90, o Sistema já está instalado em mais de mil cidades pelo mundo e possui mais de 4 milhões e meio de bicicletas. (FISHMAN & SCHEPERS, 2018).

No Brasil, 27 cidades já possuem serviços semelhantes com mais de 30 sistemas em funcionamento, sendo os mais famosos o *Bike Rio*, no Rio de Janeiro e o *Bike Sampa*, na cidade de São Paulo. Já o município de Rio das Ostras (RO), localizado na baixada litorânea do estado do Rio de Janeiro possui 228,04 km<sup>2</sup> de área territorial (PDMURO, 2015). Em 2015, o Plano de Diretrizes da Mobilidade Urbana de Rio das Ostras estimou a população em 138.017 habitantes. No relatório das Nações Unidas em 2013, RO ocupava o terceiro lugar no ranking do Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) no estado do Rio de Janeiro com IDHM igual a 0.773 (PNUD, 2013).

Em 2015, foi encaminhado ao Ministério das Cidades o PDMURO, que definiu as diretrizes para o setor de mobilidade urbana para os próximos 20 anos. O Plano contou com pesquisa realizada pela Secretaria Municipal de Transportes Públicos, Acessibilidade e Mobilidade Urbana (SECTRAN) de RO. A pesquisa obteve 1343 questionários preenchidos pelos meios físico e digital e apresenta resultados quanto aos hábitos e percepções da população ao se locomover pela cidade, seja de modo pedonal, por meio de transporte não motorizado, transportes públicos ou privados. (PDMURO, 2015).

De acordo com o PDMURO (2015), a cidade apresenta diversos fatores favoráveis para o uso de bicicletas, como área urbana 80% plana, baixo índice pluviométrico e ampla aderência histórica da população. A prefeitura em suas obras de urbanização implementou ciclovias e ciclofaixas em alguns bairros e hoje a malha cicloviária da cidade possui 20,74 km de extensão.

Durante a última década no Brasil, a frota de automóveis particulares cresceu atingindo a marca de 1 automóvel a cada 4 habitantes (DENATRAN, 2014). A grande quantidade de carros nas ruas, aliada a falta de planejamento de estradas e rodovias se traduz

em caos e lentidão no fluxo das cidades causando transtornos e diminuindo a qualidade de vida da população. Segundo o PDMURO (2015), apenas 8% das viagens realizadas no município são feitas por transporte público. Em municípios de médio porte, como é o caso de RO, a faixa de viagens realizadas por transporte público varia entre 13% e 18%.

A pesquisa sobre mobilidade urbana realizada pela SECTRAN, revelou necessidade de adequação e reorganização do transporte público no município. Foi realizado um levantamento acerca da média diária de congestionamentos na cidade que apontaram uma média de 35,57 km de congestionamento por dia (PDMURO, 2015).

Deste modo, o objetivo deste artigo é elaborar um estudo sobre a implantação de um Sistema de Bicicletas Compartilhadas em Rio das Ostras.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 Histórias e evolução

Os Sistemas de Bicicletas Compartilhadas (BSSs), oferecem um serviço de mobilidade urbana em que bicicletas públicas estão disponíveis para uso compartilhado. Estas bicicletas estão localizadas em estações distribuídas em uma área urbana. Os usuários do sistema podem retirar uma bicicleta de uma estação, usá-la para uma viagem, deixá-la em uma determinada estação (não necessariamente o de partida), e em seguida, pagar de acordo com o tempo de uso (DELL'AMICO et al., 2014).

Para Shaheen, Guzman e Zhang (2010), o princípio do compartilhamento de bicicletas pode ser definido de forma simples, no qual indivíduos podem usar bicicletas e não precisam se preocupar com os custos de aquisição e manutenção e nem com um local para guardá-la. Este sistema tem o objetivo de oferecer acesso de curto prazo a bicicletas, e é uma forma ecológica de transporte público (SHAHEEN, GUZMAN & ZHANG, 2010).

Demaio, um dos primeiros a estudar as BSSs, dividiu a história em três gerações. A primeira geração surgiu em Amsterdã no ano de 1965, onde bicicletas comuns, pintadas de branco, foram fornecidas para uso público. Elas poderiam ser emprestadas e devolvidas em qualquer lugar da cidade, por qualquer indivíduo. O sistema não teve sucesso devido ao vandalismo e roubo e durou poucos dias (DEMAIO, 2003).

A segunda geração surgiu na Dinamarca em 1991, e duas grandes diferenças puderam ser observadas desta para a primeira geração. A primeira foi a inserção de estações, os usuários poderiam retirar e devolver as bicicletas em estações pré-definidas. E a segunda foi a introdução de formas de pagamento para a utilização do sistema (DEMAIO, 2004). O anonimato continuou sendo um problema que facilitava roubos e vandalismo. (DEMAIO, 2009)

A terceira geração foi na Universidade de Portsmouth, em 1996 na Inglaterra, os Sistemas passaram a conter bicicletários que trancam automaticamente, eletrônica on-board, pagamento com cartões e recursos de telecomunicação (DEMAIO, 2004).

## 2.2 Guia de bicicletas compartilhadas

O Guia de Planejamento de Bicicletas Compartilhadas foi elaborado pelo Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento (ITDP) sediada em Nova York nos Estados Unidos. Sua função é promover o transporte ambientalmente saudável e equitativo. Gerando uma diagnósticos dos casos e cria indicadores para auxiliar novas cidades na implantação das BSSs.

O estudo organizou as etapas de planejamento e a viabilidade técnica, econômica e financeira (EVTE), apontando os objetivos e identificando quatro grandes etapas. A primeira é a realização de um estudo de viabilidade de implantação do sistema. A segunda dimensiona o sistema e define indicadores, assim como a localização das estações. A terceira etapa elabora os planos de negócios. A quarta etapa relaciona o modelo de negócio definindo as estruturas organizacionais e a contratação de empresas de serviços.

## 2.3 Sistemas de bicicletas compartilhadas no Brasil

O *the bike-sharing world map* apresenta informações das cidades que possuem sistemas em funcionamento, os sistemas desativados e os sistemas que estão em projeto de implantação, existem mais de 500 Sistemas registrados no mundo (METROBIKE, 2019).

Em consulta realizada em maio de 2019 no *the bike-sharing world map*, mostrou que o Brasil tem 32 Sistemas em funcionamento em 27 cidades, sendo 13 capitais, incluindo o Distrito Federal. A maior parte dos Sistemas estão no estado de São Paulo que possui 11 Sistemas, 3 na capital e o restante em outras cidades. O mapa já identificava também 6 Sistemas em estágio de implementação (BIKE-SHARING WORLD MAP, 2019).

## 2.4 Análise de dados

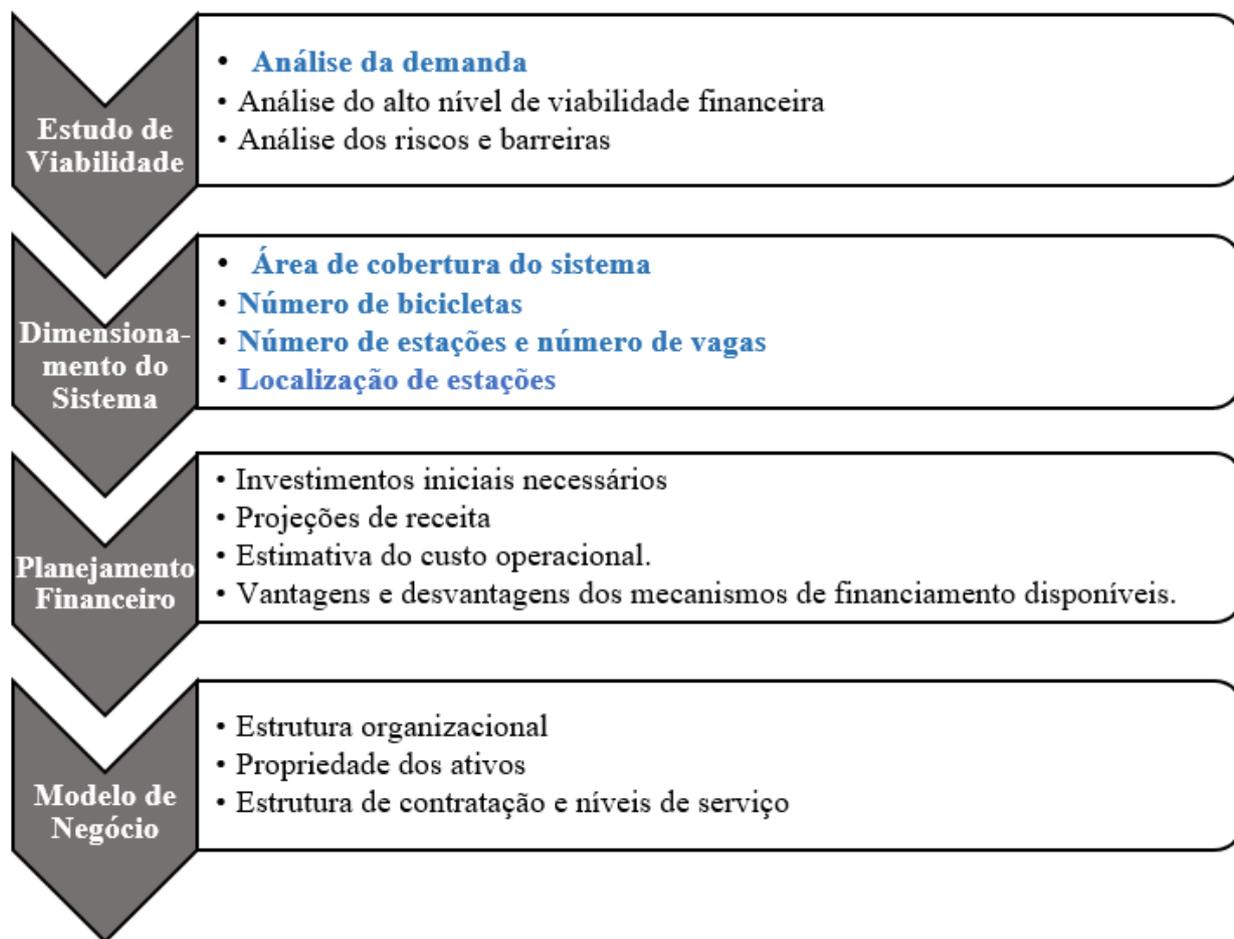
A necessidade e relevância da padronização ou uniformização das condições de aplicação dos instrumentos de medida é um dos supostos mais importantes de qualquer avaliação (ANASTASI, 1988). A estratificação consiste na divisão de um grupo em diversos subgrupos com base em características distintas (CARPINETTI, 2010). Para a inferência estatística foi realizado o teste Qui-Quadrado, cuja finalidade era identificar o valor  $\chi^2$  ( $\chi^2$ ) (Qui-Quadrado) e um p-valor.

### MÉTODO

Para a construção do método, considerou o Guia de Planejamento de Bicicletas Com-

partilhadas e as 4 etapas do planejamento para implantação de um BSSs em uma cidade.

Na Figura 1 estão as etapas que compõem o método utilizado são: análise da demanda, área de cobertura do sistema, número de bicicletas, número de estações e número de vagas e localização de estações. Estas etapas estão destacadas em azul na Figura 1.



**Figura 1:** Processos de Planejamento de Implantação de um BSSs  
 Fonte: Adaptado de ITDP (2014)

## 3. DESENVOLVIMENTO

### 3.1 Análise da demanda

Foram 1343 questionários aplicados pela SECTRAN, optou-se por utilizá-la como base primária de dados para analisar o perfil dos usuários da cidade. Para que se chegar a previsão da demanda por um BSSs foram utilizadas técnicas de análise de dados, associação de variáveis qualitativas e um delineamento do perfil de potenciais usuários, onde foi levantado a porcentagem da população que é potencial usuária de um serviço deste tipo.

## 3.2 Pesquisa de mobilidade urbana

Segundo o PDMURO, a pesquisa social teve o intuito de avaliar os fatores que influenciam a escolha do modo de transporte e a demanda potencial de seus usuários dentro do município de Rio das Ostras (RO), além de identificar seu perfil socioeconômico. O questionário continha o total de 46 questões e foi aplicado em pontos físicos distribuídos pelo município. A pesquisa também foi disponibilizada na internet, através da Plataforma Google Forms, sendo seu link inserido na página principal do site da prefeitura. O questionário foi aplicado no período entre 13 de março e 08 de abril de 2015.

O questionário aplicado pela SECTRAN enquadra-se majoritariamente como uma Pesquisa de Preferência Revelada, isto porque se interessa em atitudes reais dos indivíduos, ou seja, o que eles já praticam no dia a dia. As 4 primeiras seções procuram saber informações como o motivo do deslocamento, a frequência, o tempo médio, a origem, o destino, principais motivações de uso e principais desmotivação de uso de cada tipo de modal de transporte. Na seção socioeconômica são encontradas perguntas sobre o sexo dos entrevistados, a idade, o estado civil, o nível de ensino e renda mensal individual. Já na seção geral são encontradas perguntas como: se existe ou não transporte público no trajeto que o entrevistado costuma utilizar, qual tipo de veículo o entrevistado conduz se costuma ir ou oferecer carona entre outras.

Entretanto, a última questão que compõe a seção geral do questionário, foge ao estilo pra Preferência Revelada, já que questiona qual ação o entrevistado estaria disposto a realizar para a mudança de hábito na melhoria da mobilidade urbana. Ou seja, neste caso o entrevistado respondia baseado em atitudes que ele não fazia, mas estaria disposto a fazer. As opções para esta questão eram: caminhar mais, usar o transporte público, usar bicicleta, oferecer ou ir de carona, outros ou nenhuma. O entrevistado estava livre para marcar uma ou mais alternativas.

## 3.3 Estratificação de dados e analyses de frequência

Através do banco de dados da pesquisa realizada pela SECTRAN e disponibilizado pela Prefeitura, foi possível o cruzamento de dados de modo a aprofundar o diagnóstico geral apresentado no PDMURO, foi identificado o comportamento segundo a renda, motivação para o deslocamento e tempo médio de utilização de cada modal. A partir dos relatórios gerados, foi possível observar quais eram os modais mais escolhidos por cada grupo e quais os fatores de maior influência para o projeto.

Os dados foram analisados com o intuito de identificar se haveria tendência a utilização de um Serviço de Bicicletas Compartilhadas. Desta forma, analisando como cada grupo escolhe um modal de transporte, poderia-se inferir uma proporção da população que tem um perfil com maior probabilidade de aderência ao novo serviço, que serviria de base na forma de uma demanda potencial.

De modo a simplificar a análise, as perguntas que foram consideradas mais relevantes foram: o "Motivo" do deslocamento (característica da viagem), composta pelas alternativas escola, trabalho, lazer ou outros e o "Tempo" do deslocamento (característica do

sistema), composta pelas alternativas: até 30 minutos, de 30 minutos a 1 hora ou acima de 1 hora. Estas duas perguntas estavam presentes nas 4 seções específicas para os deslocamentos pedonal, por bicicleta, por transporte público e por veículo motorizado.

Além do motivo e do tempo de deslocamento de cada modal, foi selecionada como variável de interesse, a escolha final do usuário, ou seja, o “Modal Escolhido” e por último considerou-se a questão 46 do questionário como forma de filtro final, que levaria a uma porcentagem da população disposta a usar um serviço de bicicletas compartilhadas. Ela questionava qual ação o entrevistado estaria disposto a realizar para a mudança de hábito na melhoria da mobilidade urbana. O entrevistado poderia selecionar uma ou mais dentre as alternativas: “caminhar mais”, “usar o transporte público”, “usar bicicleta”, oferecer ou ir de carona, outros ou nenhuma. Sendo assim, as respostas foram divididas em dois grandes grupos: “Dispostos a usar Bicicleta” e “Não disposto a usar Bicicleta”.

### 3.4 Associação entre variáveis

Selecionadas as variáveis de interesse: “Motivo do deslocamento”, “Tempo de deslocamento”, “Modal escolhido” e “Disposição ao uso de bicicletas”, verificou-se estatisticamente se haveria associação entre elas de modo a respaldar a análise em conjunto das mesmas. Como as variáveis são qualitativas, optou-se por utilizar testes pertencentes às técnicas não-paramétricas. Deste modo, utilizou-se o Teste Qui-Quadrado para proporções esperadas iguais e o Coeficiente de Contingência C, indicado para determinar a magnitude de associações de variáveis qualitativas dispostas em tabelas de contingência I x n.

Considerando as variáveis em questão, são encontradas 6 combinações possíveis para a verificação da associação por pares. Utilizou-se o software BioEstat para a realização dos testes Qui-Quadrado para proporções esperadas iguais segundo os testes de hipótese:

$$H_0 = \text{Não há associação entre as variáveis}$$

$$H_1 = \text{Há associação entre as variáveis}$$

O software cauculou também os Coeficientes de Contingência C entre os pares de variáveis. Quanto maior o valor do coeficiente de Contingência C, é um número entre 0 e 1, maior é a associação entre as variáveis, um valor de C igual a zero, indica que não existe relação entre as variáveis. O nível de significância, adotado foi de 5%. Se o p-valor, for menor que o alfa adotado, conclui-se que há indícios para rejeitar a hipótese nula, ou seja, existe associação entre as variáveis. Caso contrário, se o p-valor for maior que o alfa adotado, conclui-se que não há indícios para rejeitar a hipótese nula e, portanto, não há associação entre as variáveis comparadas.

A Tabela 1 apresenta os resultados dos testes Qui-Quadrado e de Coeficientes de Contingência C. Os p-valores, apresentam resultados menores que 5%. Conclui-se que todos os pares de variáveis tem associação significativa. As linhas estão ordenadas estabelecendo a ordenação dos pares do maior ao menor nível de associação.

**Tabela 1:** Resultados do teste de associação

Relação	Tabela de Contingência	Qui-Quadrado	Coef. de Contingência C	Graus de liberdade	p-valor
Motivo x Modal	4 x 4	413.4222	0.3560	9	< 0.0001
Tempo x Disposição ajustado	2 x 3	48.4648	0.1293	2	< 0.0001
Tempo x Modal	4 x 3	44.1302	0.1235	6	< 0.0001
Motivo x Disposição	2 x 4	21.6577	0.0869	3	< 0.0001
Modal x Disposição	2 x 4	20.3718	0.0843	3	0.0001
Motivo x Tempo	3 x 4	14.7190	0.0717	6	0.0226

Fonte: Elaborado pelo autor

### 3.5 Mapeamento de frequências

Visto que as variáveis selecionadas estão associadas entre si, definiu-se a uma ordem lógica para estratificação dos dados.

A lógica foi estabelecida a partir da ordem das escolhas do usuário na hora de optar um modal de transportes para seu deslocamento, conforme a sequência:

- 1º Define-se o motivo do deslocamento;
- 2º Com base na distância até seu destino, estima-se o tempo de locomoção;
- 3º Com base no motivo, distância e tempo, define-se o meio de locomoção;
- 4º A variável "Disposição ao uso de bicicletas", foi colocada ao final como meio de estratificar os dados da população que está disposta a usar bicicleta.

A partir do total de respostas empilhadas e válidas (2849), já que um entrevistado poderia responder de forma independente a mais de uma seção, uma lógica de estratificação foi estabelecida, montou-se então, o diagrama geral apresentado na Figura 4 que explicita em forma de porcentagem, a composição de cada grupo. Dentre as respostas que apontaram "Escola" como motivo de deslocamento, 6,5% foram deslocamentos de até 30 minutos, 5% foram deslocamentos de 30 minutos a 1 hora e 3,5% foram de deslocamentos acima de 1 hora. Dentro de cada uma das três faixas de tempo, foram separadas as porcentagens de respostas que utilizaram cada um dos 4 modais disponíveis ("A pé", "Bicicleta", "Transporte Público" ou "Veículo"). E por fim, dentro de cada modal selecionado, foram separadas as porcentagens de pessoas que marcaram a opção "Bicicleta" como resposta da pergunta de número 46 do questionário e então foram enquadradas no grupo "Disposição ao uso de Bicicletas". O mesmo foi feito com os demais motivos de deslocamento.

Delineamento do perfil da demanda potencial

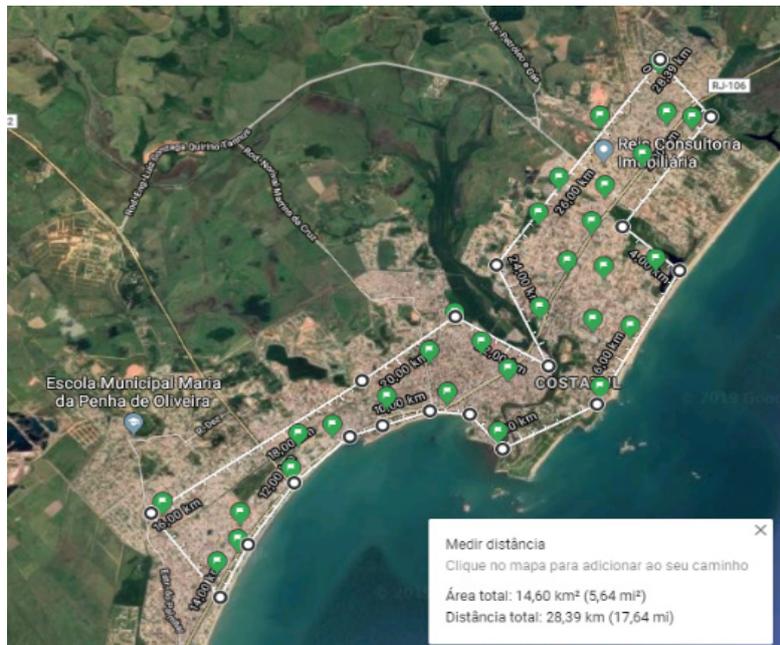
A pesquisa realizada pela SECTRAN contempla apenas modais de transportes existentes na cidade, foi necessário traçar um perfil com base na porcentagem da população com maior probabilidade de aderir a um serviço de bicicletas compartilhadas. As premissas consideradas para o delineamento do perfil de usuários e suas demandas potenciais foram:

- Andam até 30 minutos, independente do motivo e dispostas a usar bicicletas;
- Deslocam em transportes públicos por até 30 min e estão dispostas a utilizar bicicleta;
- Deslocam-se em veículos próprio por até 30 min e estão dispostas a utilizar bicicleta;
- Andam de 30 min a 1h independente do motivo e estão dispostas a utilizar bicicleta.

De posse das porcentagens de cada grupo e do perfil potencial da demanda por um serviço de Bicicletas Compartilhadas no município, traçou-se os caminhos no diagrama com maior probabilidade ao uso do serviço. De acordo com o PDMURO, a população urbana de RO no ano de 2015 era de 138.017 habitantes. Desta forma, aplicando 4,6% em cima da população urbana, conclui-se que a demanda potencial de usuários para um BSSs é de aproximadamente 6407 pessoas.

### 3.6 Área de cobertura do sistema

Para a definição da área de cobertura do Sistema, analisou-se as regiões urbanas propostas pelo PDMURO, assim como as vias cicláveis existentes e projetadas. Com o auxílio da ferramenta de medição do Google Maps foi possível delimitar uma área que abrange as regiões citadas e que segue a trajetória das ciclovias e ciclofaixas existentes e projetadas. A ferramenta de medição gera automaticamente a área em km<sup>2</sup> delimitada na mapa. Desta forma, a área final proposta, compreende cerca de 14,6 km<sup>2</sup> da área urbana total. A delimitação da área pode ser observada na figura 2.



**Figura 2:** Localização de Estações  
 Fonte: Elaborado pelo autor

### 3.7 Cálculo do número de bicicletas do sistema

A demanda potencial foi estimada em 6407 habitantes. Desta forma foi possível calcular o número de bicicletas e o número de vagas do Sistema, utilizando as equações 1 e 2 explicitadas no método.

Todavia, antes foi necessária a definição da taxa de bicicletas por população a ser considerada para o cálculo final. De acordo com o ITDP, a taxa ideal de bicicletas pertence ao intervalo de 10 a 30 bicicletas a cada grupo de mil habitantes. Uma faixa intermediária de 20 bicicletas a cada mil habitantes foi considerada mais adequada considerando a demanda estimada e o tamanho da cidade. Desta forma, o número de bicicletas foi estimado em 128 bicicletas para o Sistema. Para o cálculo do número de vagas foi considerada a taxa de 2 vagas a cada bicicleta, o que resulta num total de 256 vagas de bicicletas no Sistema.

### 3.8 Cálculo do número de estações do sistema

O número de estações é definido em função da taxa ideal de estações vezes a área de cobertura do sistema. No Brasil, as taxas utilizadas em cidades como São Paulo, Rio de Janeiro, Brasília e Belo Horizonte variam em torno de 2 a 3 estações por quilômetro quadrado. Sendo assim, seguindo a coerência das taxas praticadas pelas cidades brasileiras, optou-se em utilizar uma taxa de 2 estações por quilômetro quadrado visto que a cidade de RO possui proporções menores do que as cidades citadas.

Definida a área de cobertura do Sistema e a taxa de estações foi possível estimar que seriam necessárias 30 estações. A capacidade de cada estação é definida em função do nú-

mero de vagas desejável pela quantidade total de estações. Desta forma, como o número de vagas para estacionamento de bicicletas foi definido em 256, representando dobro do número de bicicletas, cada estação deve ter a capacidade de comportar 9 bicicletas.

### 3.9 Localização das estações

Foram distribuídos 30 pontos no mapa. Cada ponto é uma estação do BSSs. Os locais priorizados foram: praças, escolas, hospitais, pontos turísticos, etc. Estes locais apresentam maior frequência de população, fácil acesso e espaço suficiente para uma estação com 9 vagas para bicicletas. Foram utilizados também distância média entre estações, proximidades de ciclovias existentes e na ausência destas, a proximidade com ciclovias já projetadas pela prefeitura, além da priorização de pontos turísticos.

### 3.10 Dimensionamento final

O presente estudo também foi capaz de obter resultados quanto ao tamanho inicial de um BSSs a ser implantado no município. Os resultados, resumidos na Tabela 2, podem contribuir com futuros projetos que tenham interesse de implantar um BSSs na cidade de RO.

**Tabela 2:** Dimensionamento Final

<b>Demanda</b>	
4,6% da população ou cerca de 4607 pessoas para a população estimada em 138.017 habitantes	
<b>Perfil da Demanda</b>	
Motivo Principal	Lazer
Tempo de Uso	Até 1 hora
Faixa Etária Principal	Variada com destaque para maiores de 18 anos
Nível de Ensino de maior ocorrência	Médio e Superior
Renda	Variada
<b>Área de Cobertura</b>	
Área inicial, abrangendo grande parte da região urbana do município	14,6 km <sup>2</sup>
<b>Número de Bicicletas</b>	
Total de Bicicletas	128
Total de Vagas	256
<b>Número de Estações</b>	
Total de Estações Fixas	30
Capacidade de cada Estação	9
<b>Localização de Estações</b>	<b>Quantidade de Estações</b>
Região 1	7
Região 2	7
Região 3/Centro	7
Região 4	9

Fonte: Elaborado pelo autor



No entanto, devem ser observados alguns pontos importantes caso haja o interesse por parte do poder público na implantação de um Sistema deste tipo.

A construção de ciclovias, principalmente na região comercial do centro da cidade é um problema que deve ser solucionado para que um BSSs tenha mais chances de sucesso;

Deve haver investimentos no âmbito da educação no trânsito, de modo a disseminar entre a população conceitos de responsabilidade e segurança no trânsito com o intuito de mitigar a ocorrência de acidentes e/ou mal uso das vias;

Deve haver investimentos na fiscalização das vias, assim como na fiscalização de pedestres, ciclistas e motoristas, de modo a garantir que cada agente esteja agindo de acordo com suas responsabilidades e deveres; e

Deve-se observar as características do Sistema a ser implantado, dando preferência a tecnologias integradas que possibilitem a facilidade do uso e de meios de pagamento.

## 4. CONCLUSÃO

Através das análises presentes neste projeto, entende-se que o município de Rio das Ostras é propício a implantação de um BSSs. Fatores levantados pelo PDMURO como área majoritariamente plana, existência e projeto de ampliação de ciclovias, aderência da população no que diz respeito ao uso de bicicletas e regiões voltadas ao turismo contribuem para que uma possível implantação de um projeto seja bem sucedida.

O perfil da demanda levantado, aponta principalmente para o lazer, o que se traduz em grande potencial turístico quando levado em consideração o turismo sazonal da cidade. A tendência de troca do modal do transporte por fatores como a adoção de hábitos mais saudáveis e sustentabilidade ambiental também foram observados.

## Referências

ADAMOWICZ, W.; LOUVIERE, J.; WILLIAMS, M. Combining revealed and stated preference methods for valuing environmental amenities. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 26, p. 271-292, 1994.

ANASTASI, A. Psychological testing. New York: MacMillan.1988.

AYRES, M. Et al. BioEstat: Aplicações Estatísticas nas áreas das Ciências Biomédicas. **Universidade Federal do Pará**. Belém do Pará. 2007.

BELL, J. **Projeto de pesquisa: guia para pesquisadores iniciantes em educação, saúde e ciências sociais**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed. 2008.

BRANDLI, L. L.; HEINECK, L. F. M. **As abordagens dos modelos de preferência declarada e revelada no processo de escolha habitacional**. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. p. 15, 2005.

- CENSO DEMOGRÁFICO, 2010. Características da população e dos domicílios: resultados do universo. Rio das Ostras: **IBGE**, 2018. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/rio-das-ostras/panorama> >. Acesso em 12 de abril de 2019.
- CARPINETTI, L. C. R. Gestão da Qualidade – Conceitos e Técnicas. São Paulo: Atlas, 2010.
- DELL'AMICO, M. et al. The bike sharing rebalancing problem: Mathematical formulations and benchmark instances. **Omega**, v. 45, p. 7–19, jun. 2014.
- DEMAIO, P. Bike-sharing: History, Impacts, Models of Provision, and Future. **Journal of Public Transportation**, v. 12, n. 4, p. 41–56, dez. 2009.
- DEMAIO, P.; GIFFORD, J. Will Smart Bikes Succeed as Public Transportation in the United States? **Journal of Public Transportation**, v. 7, n. 2, p. 1–15, jun. 2004.
- DENATRAN – DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO. **Frotas de veículos**. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/frota.htm>>. Acesso em 12 de abril de 2019.
- FISHMAN, E. et al. Barriers to bikesharing: an analysis from Melbourne and Brisbane. **Journal of Transport Geography**, v. 41, p. 325–337, dez. 2014.
- ITDP, 2014. **Guia de Planejamento de Sistemas de Bicicletas Compartilhadas**. Disponível em: <<http://itdpbrasil.org.br/publicacoes/guias-e-manuais/>>. Acesso em 12 de abr. de 2019.
- LANKSHEAR, C.; KNOBEL, M. **Pesquisa pedagógica: do projeto a Implementação**. Porto Alegre: Artmed. 2008.
- MEIRELES, R. et al. An E.Bike Design for the Fourth Generation Bike-Sharing Services. **World Electric Vehicle Journal**, v. 6, p. 6, 2013.
- METROBIKE. **The Bike-sharing World Map**. 2019. Disponível em: <<http://www.metrobike.net/the-bike-sharing-world-map/>> Acesso em: 03 de jun. de 2019.
- PNUD – PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO; IPEA - INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA E APLICADA; FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Atlas de desenvolvimento humano do Brasil de 2013**. 2013. Disponível em: <<http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/ranking/>>. Acesso em 12 de junho de 2019.
- RIO DAS OSTRAS, Prefeitura Municipal De Rio Das Ostras. **Plano de Diretrizes da Mobilidade Urbana de Rio das Ostras - PDMURO**. Rio das Ostras, 2015.
- RODRIGUES, F. MODELOS COMPORTAMENTAIS DESAGREGADOS: UMA ANÁLISE CONCEITUAL. **Universidade Federal do Rio Grande do Sul**, 2012.
- SHAHEEN, S.; GUZMAN, S.; ZHANG, H. Bikesharing in Europe, the Americas, and Asia: Past, Present, and Future. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, [s.l.], v. 2143, p. 159–167, 2010. Disponível em: < <https://escholarship.org/uc/item/79v822k5> >. Acesso em: 03 de jun. de 2019.
- THE BIKE-SHARING WORLD MAP, 2019. Disponível em: < [https://www.google.com/maps/d/u/0/viewer?ie=UTF8&hl=en&msa=0&z=4&mid=1UxYw9YrwT\\_R3SGsktJU3D-2GpMU&ll=-14.33423684755003%2C-45.299534271355014](https://www.google.com/maps/d/u/0/viewer?ie=UTF8&hl=en&msa=0&z=4&mid=1UxYw9YrwT_R3SGsktJU3D-2GpMU&ll=-14.33423684755003%2C-45.299534271355014) >. Acesso em: 03 de jun. de 2019

# CAPÍTULO 4

## **IMPLEMENTAÇÃO DA HEURÍSTICA DE LIN-KERNIGHAN E SUA APLICAÇÃO NO SEQUENCIAMENTO DE PONTOS DE REBITAGEM**

*IMPLEMENTATION OF LIN-KERNIGHAN HEURISTIC AND THE  
APPLICATION IN RIVETING SEQUENCING*

**Frederico de Castro Neto**  
**Edilaine Martins Soler**

## Resumo

O Problema do Caixeiro Viajante é um dos problemas de otimização combinatória mais conhecidos e de difícil solução computacional, relacionado principalmente com o estudo de rotas otimizadas. Este trabalho apresenta a implementação e aplicação de um método heurístico eficiente para resolução deste problema: a heurística de Lin-Kernighan. Esta heurística foi implementada utilizando a linguagem de programação *Python*, de modo que um *framework* de fácil utilização e customização pudesse ser disponibilizado para pesquisadores que desejem estudar e utilizar a heurística. A aplicação da heurística é feita em uma base de dados de rebiteagem automática disponibilizada por uma indústria aeronáutica nacional com objetivo de otimizar o sequenciamento desses pontos de trabalho, reduzindo assim o tempo total de execução do equipamento.

**Palavras-chave:** Problema do Caixeiro Viajante, Rebiteagem automatizada, heurística de Lin-Kernighan.

## Abstract

Traveling Salesman Problem is one of the most well-known combinatorial problems and computationally hard to solve, mainly related to the study of optimized routes. This paper presents the implementation and application of an efficient heuristic method to solve this problem: the Lin-Kernighan heuristic. This heuristic was implemented using Python programming language, so that an easy-to-use and customizable framework could be available to researchers who wish to study and use the heuristic. The application is done in an automatic riveting database provided by a Brazilian aeronautical industry aiming to optimize the sequencing of these working points, thus reducing the total execution time of the equipment.

**Keywords:** Travelling Salesman Problem, Automatic riveting, Lin-Kernighan heuristic.

## 1. INTRODUÇÃO

De acordo com Rita (2017) e Guariente (2017) since it requires a constant increase in productivity, both in the automobile industry as well as in the companies whose manufacture its components. This sector is currently set within an economic framework where there is a relentless search for costs reduction and an increase in productivity with minimal investment. In order to meet these requirements, companies have sought to optimise their products and processes to ensure higher profits. This study was developed with the purpose of enhancing procedures in the maintenance sector regarding a company which supplies air-conditioning tubes to the automotive sector. The main objective was to increase its machines and equipment availability through the implementation of autonomous maintenance. Due to the undertaken improvements, there was a 10% increase in the monthly indicator of equipment availability on line AA3 at the company where the study was carried out. This, in turn, resulted in an increase of 8% in OEE (Overall Equipment Effectiveness, o meio industrial moderno e seus processos de manufatura têm gerado ambientes cada vez mais competitivos, nos quais fabricantes buscam exaustivamente a melhoria contínua e excelência de produção com o objetivo de se manterem eficientes dentro dos mais variados mercados.

Um dos principais processos de manufatura na indústria aeronáutica é a rebitagem. Conforme Wang (2012), este processo de união é amplamente utilizado em componentes aeronáuticos por ser estruturalmente mais eficiente e economicamente mais viável do que outros métodos de união. Dada sua relevância, soluções robotizadas foram desenvolvidas ao longo das últimas décadas para automatizar este processo de manufatura, conforme exemplificado na Figura 1.



Figura 1 - Rebitadora automática  
Fonte: Bigoney e Huddleston (2017)

A automação de processos de manufatura discretos (ponto-a-ponto) gera benefícios de produtividade e qualidade ao mesmo tempo em que cria um desafio peculiar para seus respectivos programadores CNC: definir o sequenciamento otimizado dos pontos de trabalho que resulte no menor tempo de uso do equipamento. Estudos com essa abordagem em processos de manufatura industrial, como soldagem e furação, foram realizados por

Suarez-Ruiz (2018) such as spot-welding, spray-painting or drilling, the robot is required to visit successively multiple targets. The robot travel time among the targets is a significant component of the overall execution time. This travel time is in turn greatly affected by the order of visit of the targets, and by the robot configurations used to reach each target. Therefore, it is crucial to optimize these two elements, a problem known in the literature as the Robotic Task Sequencing Problem (RTSP, Li (2009), J. Li (2014) e Nedjatia (2020).

Esse tipo de problema, no qual se busca determinar a rota para percorrer uma série de pontos que resulte no menor custo possível, se tornou objeto de estudo a partir da década de 30 e ficou conhecido popularmente por Problema do Caixeiro Viajante, conforme mostrado na Figura 2. Este é um dos problemas de otimização combinatória de maior aplicação real, sendo relevante em diversas áreas como processos de manufatura, rotas veiculares, astronomia, sequenciamento genético, entre outras áreas.

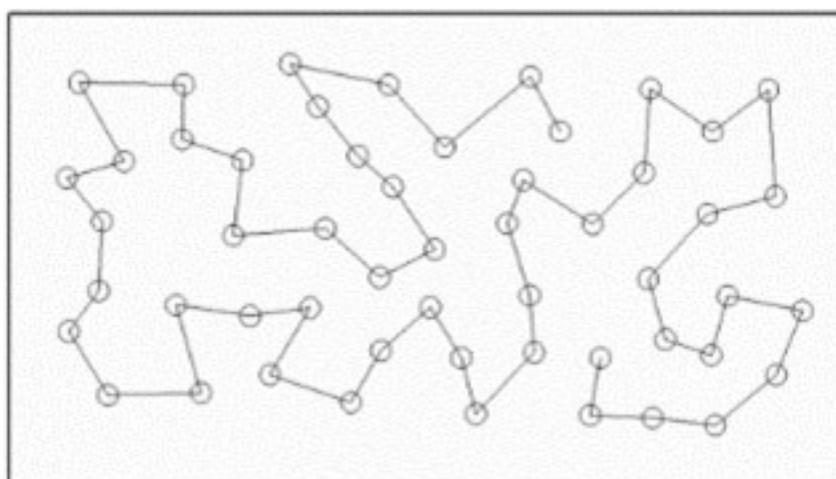


Figura 2 - Problema do Caixeiro Viajante  
Fonte: Adaptado de X. Li (2009)

Dentre os estudos de diversos métodos para resolução deste problema, Kernighan (1973) propôs uma heurística que ganhou destaque a partir da década de 70, conhecida como heurística de Lin-Kernighan. Desde a sua primeira publicação, diversos pesquisadores criaram variações das implementações e estratégias adotadas pelo algoritmo original, com objetivo de obter melhores resultados com uma performance computacional maior. O exemplo mais conhecido e de maior sucesso na atualidade é o chamado algoritmo *LKH*, proposto por Helsgaun (1998). Mesmo com sua fama, o volume de implementações desta heurística é baixo, sendo a maior parte de difícil compreensão e intimidadoras em um primeiro momento, principalmente para pesquisadores que desejam desenvolver suas próprias implementações.

O objetivo deste trabalho é realizar a implementação da heurística de Lin-Kernighan e aplicá-la na otimização do sequenciamento automatizado de rebites aeronáuticos. A implementação foi realizada em linguagem *Python*, uma linguagem de programação mais moderna e de fácil acesso e entendimento de modo a se disponibilizar uma base computacional para uso de pesquisadores que, a partir da mesma, possam então criar suas próprias variações e desenvolver seus próprios algoritmos. A utilização da heurística gerou resultados computacionais satisfatórios dentro da aplicação industrial estudada convergindo em uma perspectiva promissora no uso da mesma para o sequenciamento automatizado de rebites aeronáuticos.

A seção 2 deste artigo apresenta os conceitos gerais da heurística de Lin-Kernighan e os detalhes da implementação na linguagem de programação *Python*. Na seção 3, o fluxo de coleta automatizado dos dados de rebiteamento realizado na indústria aeronáutica é apresentado. A seção 4 demonstra os resultados numéricos obtidos em pequenas instâncias do problema encontradas na literatura e os resultados obtidos nas instâncias industriais. A seção 5 apresenta as principais conclusões em torno da implementação da heurística e dos resultados numéricos obtidos e ressalta as possibilidades para estudos futuros.

## 2. HEURÍSTICA DE LIN-KERNIGHAN

### 2.1. Conceitos gerais

A base da heurística de Lin-Kernighan foi proposta por trabalhos de abordagem exploratória de soluções, entre as décadas de 50 e 60, conforme detalhado por Cook (2011). Nesses trabalhos, os movimentos computacionais chamados de *2-Opt* e *3-Opt* (Figura 3) foram propostos e investigados, de modo que, a partir de uma rota inicial representada por um grafo, duas ou três arestas entre vértices fossem “quebradas” (indicadas na Figura 3 como  $x$ ) e “reconectadas” (indicadas na Figura 3 como  $y$ ) formando assim uma nova rota de custo reduzido, a qual passará pelo mesmo processo até que não existam mais movimentos que otimizem a rota em processamento.

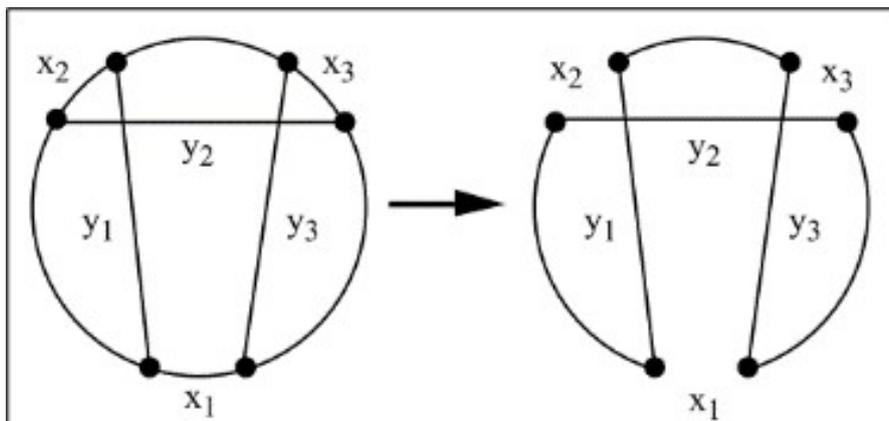


Figura 3 - O movimento *3-Opt*  
Fonte: Adaptado de Helsgaun (1998)

Na Figura 3 é importante observar que o custo das arestas  $y$  não é definido pela sua distância euclidiana, uma vez que estas arestas são graficamente mais longas que as arestas  $x$ . Outro ponto de observação importante é a seleção *sequencial* de arestas quebradas e reconectadas, ou seja, a partir do último vértice de reconexão parte a próxima aresta a ser quebrada, estratégia que também é utilizada na heurística de Lin-Kernighan.

Diferente dos movimentos citados anteriormente, a heurística de Lin-Kernighan propõe um tipo de movimento *adaptável*, baseado na diferença dos custos das arestas quebradas e reconectadas (chamada de *ganho*), de modo a selecionar duplas sequenciais dessas arestas que apresentem maior potencial de ganho, a fim de convergir para boas soluções de maneira mais rápida e eficiente. Segundo Kernighan (1973), resultados experimentais demonstram que a complexidade computacional da heurística se aproxima de  $O(n^3)$  (em que  $n$  define o número de vértices do problema), valor muito próximo da complexi-

dade computacional do movimento *2-Opt*, porém convergindo para soluções melhores do que este último movimento.

Além da base exploratória explicada anteriormente, Kernighan (1973) também propôs 4 refinamentos principais para o método de modo a reduzir o tempo de processamento e direcionar a busca por arestas promissoras, os quais são listados a seguir:

**Identificação de rotas repetidas:** Ao se realizar a busca por novas arestas, rotas previamente descartadas podem reaparecer durante essa exploração e o tempo de execução para descarte das mesmas, chamado de *checkout*, pode ser significativo. Portanto, este refinamento propõe que rotas descartadas sejam memorizadas ao longo do processo de modo que não sejam mais consideradas em buscas futuras;

**Ordenação de arestas promissoras:** Durante a seleção de arestas a serem quebradas e reconectadas, propõe-se selecionar primeiro as duplas que gerem o maior ganho possível. Para que este processo de seleção, chamado de *lookahead*, não seja longo, o refinamento é proposto com uma quantidade limitada de duplas consideradas;

**Permanência de arestas "boas":** Conforme a busca alcança novas rotas otimizadas em relação às suas antepassadas, algumas arestas são mantidas sem modificação. A partir de um determinado momento, este refinamento propõe que estas arestas passem a não ser mais analisadas e alteradas, uma vez que provaram serem arestas "boas";

**Movimentos não sequenciais:** A heurística se baseia na conexão e reconexão de arestas sequenciais conforme explicado anteriormente para o movimento *3-Opt*. Este refinamento sugere que em determinados casos essa regra seja violada de modo a explorar soluções que não seriam alcançadas a partir de movimentos sequenciais.

A partir dos conceitos básicos da heurística definidos, na próxima seção serão apresentados os fundamentos técnicos de implementação na linguagem de programação *Python*.

## 2.2. Implementação em *Python*

A implementação da heurística foi executada utilizando a linguagem de programação *Python*, justificada por sua simplicidade, popularidade e características como orientação à objeto que permitem uma implementação clara e de fácil entendimento, servindo assim também como material de consulta e apoio para outros pesquisadores interessados na heurística de Lin-Kernighan.

Um dos desafios de implementação que precede a própria heurística é a estruturação dos objetos que compõem o Problema do Caixeiro Viajante: o *vértice*, a *aresta* e a *rota*. Diversas modelagens foram propostas ao longo dos anos, e podem ser encontradas nos documentos de Helsgaun (1998), Applegate (1994) e Johnson (1990). Para a implementação neste trabalho, a principal estrutura extraída desses documentos é chamada de *Doubly Linked List*, utilizada para definição dos vértices e exemplificada na Figura 4.

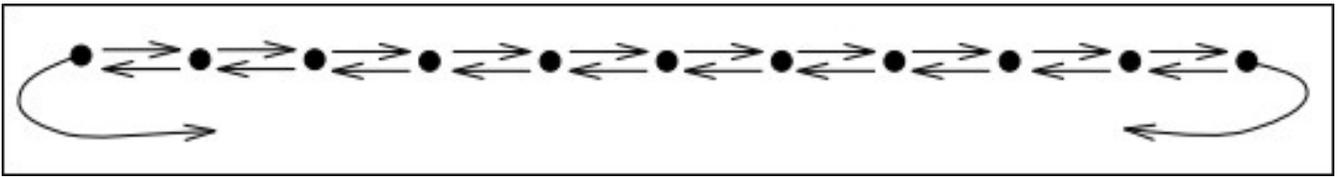


Figura 4 - *Doubly Linked List*  
Fonte: Applegate (1994)

Nessa lista duplamente conectada cada vértice possui uma propriedade de conexão ao vértice sucessor e predecessor, definindo assim uma sequência de vértices que dará origem às arestas e a rota do Problema do Caixeiro Viajante. Do ponto de vista computacional, a lista duplamente conectada permite operações eficientes de quebra e reconexão de arestas, o que tende a otimizar a execução do algoritmo, uma vez que o mesmo é fortemente baseado nesse tipo de operação.

Nesta implementação do algoritmo, os refinamentos chamados de *checkout* e *lookahead* propostos por Kernighan (1973) e detalhados na seção 2.1 foram implementados de modo a se otimizar a performance do algoritmo. Os outros 2 refinamentos, bem como outras melhorias existentes nas variações da heurística de Lin-Kernighan propostas por Helsgaun (1998) e Applegate (2003) serão considerados em trabalhos futuros.

Toda a implementação foi organizada para distribuição de um possível pacote *Python*, de fácil utilização e até mesmo revisão por outros usuários. A partir dos padrões globais de grupos de pesquisa do Problema do Caixeiro Viajante, o pacote inclui um conversor de arquivos de entrada *.tsp* padronizados. As principais instâncias estudadas por esses grupos se encontram disponíveis *online* na biblioteca *TSPLIB* (REINELT, 1995)nd a roundtrip of minimal total length visiting each node exactly once. The distance from node  $i$  to node  $j$  is the same as from node  $j$  to node  $i$ . Hamiltonian cycle problem (HCP).

Apesar de não possuir uma interface gráfica, o sistema desenvolvido conta com recursos como execução interativa ou silenciosa pelo terminal do sistema operacional, relatórios de execução com maior ou menor nível de detalhamento, execução em batelada para avaliação de métricas de execução e um gerador de gráficos 2D/3D para visualização das rotas geradas. O pacote com todos os arquivos *Python*, guia de uso e exemplos de execução se encontra disponível na página do autor (CASTRO, 2022).

### 3. COLETA DE DADOS

A coleta de dados realizada neste trabalho consistiu em uma etapa crítica e de longo ciclo pois teve como objetivo a definição de um fluxo de aquisição de dados padronizado e automatizado, a fim de que a mesma pudesse ser facilmente reaplicada por responsáveis da própria empresa aeronáutica em quaisquer produtos a serem investigados. Para realização desta etapa foi utilizado o programa de modelagem 3D *CATIA V5 R27*, fornecido pela *Dassault Systemes* (o mesmo programa utilizado pela empresa aeronáutica) e suas respectivas ferramentas de automação na linguagem *Visual Basic Automation* (VBA). Além disso, a empresa também forneceu os modelos 3D de três produtos aeronáuticos (Figura 5), contendo suas respectivas bibliotecas 3D de rebites, as quais foram utilizadas para extração das informações necessárias para realização do estudo.



Figura 5 - Produtos aeronáuticos disponibilizados para o estudo  
 Fonte: Os autores

A partir dos recursos disponibilizados, a extração de determinadas informações como a posição espacial do rebite e o seu tipo básico são de fácil acesso, uma vez que são propriedades do próprio objeto 3D. Ao contrário, informações como as peças ligadas a cada rebite e a presença de pré-furos (“furos guias”) nos pontos de rebite não são explicitamente expostas por cada objeto 3D. Para automatizar a extração destas últimas informações foi necessário o desenvolvimento das seguintes automações em VBA listadas abaixo:

Ferramenta para substituição dos modelos 3D das peças que não possuem pré-furos pelas respectivas peças que possuem pré-furos (para mapeamento dos pontos de visão durante a rebiteagem automatizada);

Ferramenta para identificação dos rebites localizados em pontos com pré-furos nas peças (para mapeamento dos pontos de visão durante a rebiteagem automatizada);

Ferramenta para identificação das peças unidas por cada rebite (para possível análise agrupada dos pontos de rebiteagem). A interface desta ferramenta é exemplificada na Figura 6.

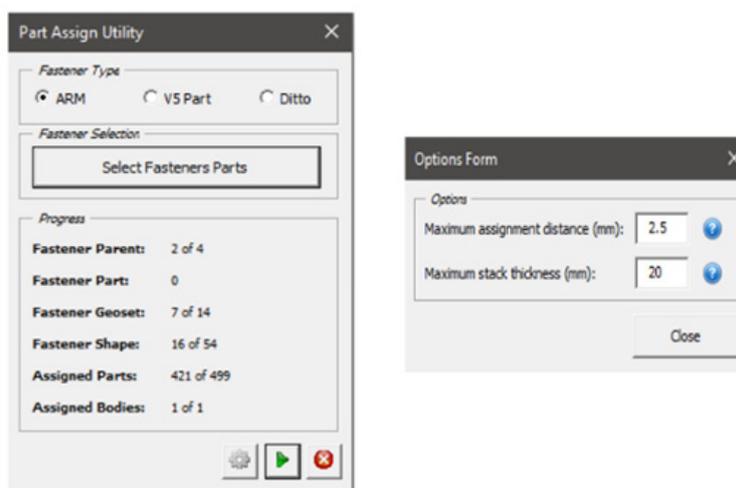


Figura 6 - Ferramenta para identificação das peças unidas por cada rebite  
 Fonte: Os autores

Ao final do processamento das informações, cada produto aeronáutico teve sua biblioteca de rebites exportada para um arquivo de texto separado por vírgulas, no qual cada linha representava um rebite do produto e cada coluna representava um atributo mapeado para o rebite, de modo a ser utilizado como entrada para o processamento do Problema do Caixeiro Viajante. Na próxima seção os resultados numéricos do processamento de 2 instâncias serão apresentados.

## 4. RESULTADOS NUMÉRICOS

### 4.1. Instâncias da literatura

Os resultados iniciais apresentados a seguir fazem parte da validação da implementação da heurística de Lin-Kernighan em instâncias de pequena dimensão disponíveis na biblioteca *TSPLIB*. A utilização dessas instâncias é importante para avaliação da performance do algoritmo e também para medição de sua assertividade em relação às soluções globais disponíveis. As instâncias selecionadas foram a *att48.tsp* e *a280.tsp*, com 48 e 280 vértices respectivamente. Os resultados de 100 simulações realizadas são apresentados na Tabela 1.

	<b>att48.tsp</b>	<b>a280.tsp</b>
<i>Número de vértices</i>	48	280
<i>Simulações</i>	100	100
<i>Tempo médio</i>	0.1s / simulação	2.2s / simulação
<i>Ótimo global</i>	33.522	2579
<i>Melhor solução obtida</i>	33.588 (0.19%)	2593 (0.56%)
<i>Solução média obtida</i>	34.533 (3.01%)	2795 (8.37%)

Tabela 1 - Resultados para att48.tsp e a280.tsp

Fonte: Os autores

Os dados da Tabela 1 indicam uma performance aceitável da implementação desenvolvida. Os valores das soluções obtidas se aproximam muito dos ótimos globais conhecidos de cada problema, com um desvio menor que 1% nas duas instâncias. As rotas definidas pelas melhores soluções estão ilustradas na Figura 7.

Uma vez a heurística tendo apresentado bons resultados em instâncias pequenas, realizou-se o teste com as instâncias do problema de rebiteagem e os resultados obtidos nessas simulações serão apresentados na próxima seção.

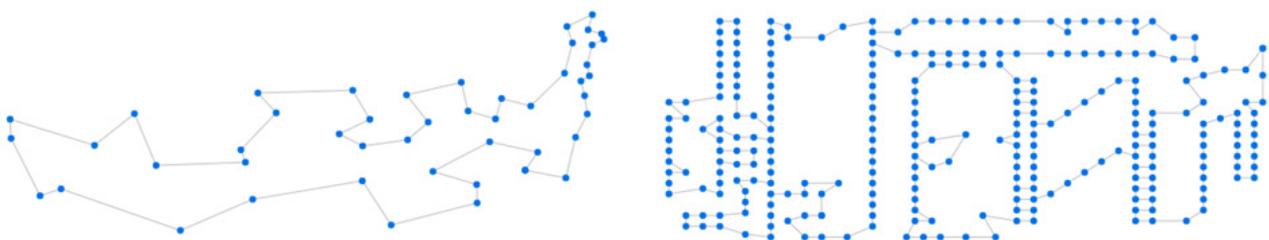


Figura 6 - Melhores soluções encontradas para att48.tsp (esq.) e a280.tsp (dir.)

Fonte: Os autores

### 4.2. Aplicação no sequenciamento de pontos de rebiteagem

É importante ressaltar que nesta validação inicial aplicada ao problema industrial apenas a distância entre os rebites foi utilizada no cálculo dos custos das arestas. Desta forma, os resultados apresentados a seguir validam a trajetória da máquina automatizada, não significando que o tempo de produção seja o menor possível. Informações adicionais precisam ser consideradas, o que será feito em trabalhos futuros.

Uma vez considerada a distância entre os pontos de rebite para definição dos custos de cada aresta, foi extraída do programa CNC de cada produto a distância total percorrida pelo equipamento a fim de se comparar essa trajetória atual utilizada no ambiente fabril com a trajetória calculada pelo sistema de otimização.

As instâncias industriais passaram por um número menor de simulações uma vez que o ciclo de otimização é mais longo. Considerando que essas são instâncias muito maiores que as instâncias analisadas na seção 4.1, é esperado que suas simulações demorem mais tempo.

Foram realizados testes com duas instâncias e os resultados encontram-se listados na Tabela 2. Nota-se que a melhor solução obtida para a instância 1 se aproxima mais da solução média uma vez que mais simulações foram executadas e o tamanho desta instância é menor quando comparado à instância 2, que possui aproximadamente o dobro de vértices. O tempo de execução cresceu linearmente em relação ao número de vértices, fato importante uma vez que o crescimento no número de soluções possíveis em relação ao número de vértices é exponencial para o Problema do Caixeiro Viajante.

O ganho em relação a trajetória praticada na indústria e a melhor trajetória obtida foi de aproximadamente 30%. Apesar desse ganho representar apenas a diminuição na trajetória percorrida pelo equipamento sem considerar outros fatores, o mesmo representa uma possibilidade de ganho a ser encontrado em futuras simulações.

	<b>Instância 1</b>	<b>Instância 2</b>
<i>Número de vértices</i>	1722	3730
<i>Simulações</i>	30	10
<i>Tempo médio</i>	470s / simulação	1075s / simulação
<i>Trajetoária atual</i>	58.892	148.640
<i>Ótimo global</i>	-	-
<i>Melhor solução obtida</i>	41.448	112.690
<i>Solução média obtida</i>	43.135	125.980

Tabela 2 - Resultados para instâncias industriais  
Fonte: Os autores

Na Figura 8 é ilustrada a rota da melhor solução encontrada para a instância 1. É perceptível que se obteve um resultado melhor para a instância 1 a partir do menor número de longas arestas cruzando determinados vértices, fenômeno que ocorre com maior frequência e em maior tamanho na instância 2, gerando oportunidades de otimizações adicionais neste último problema.

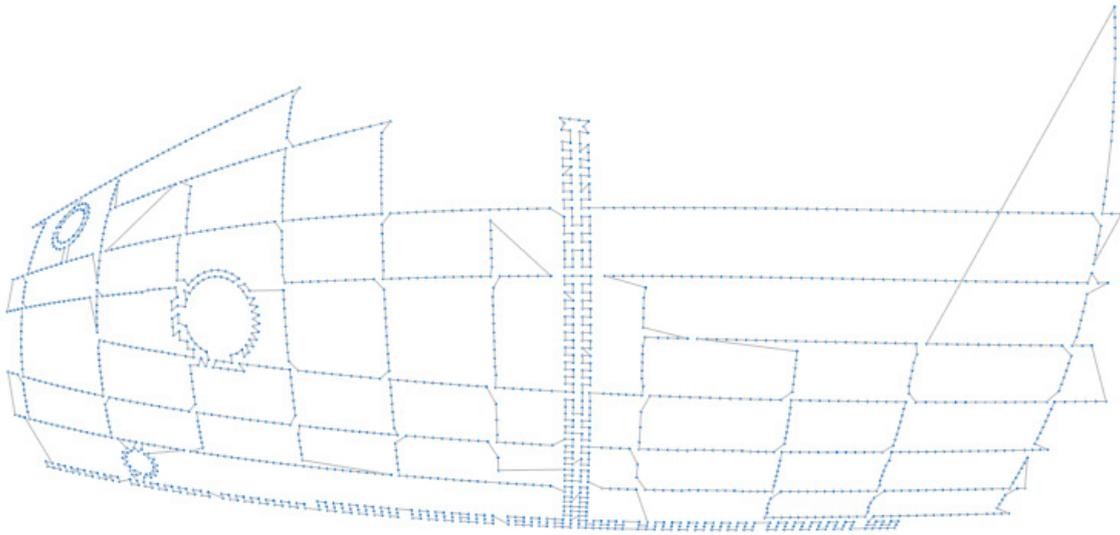


Figura 7 - Melhor solução encontrada para a instância 1  
 Fonte: Os autores

Na Figura 9 é ilustrada a rota da melhor solução encontrada para a instância 2. Além da maior quantidade de vértices, pode-se notar que a geometria definida por esses vértices apresenta maior complexidade quando comparada com a geometria da instância 1, uma vez que existe uma grande quantidade de vértices localizados próximos entre si em 2 regiões distintas, nas quais a maior parte das arestas longas se conectam em pelo menos uma extremidade.

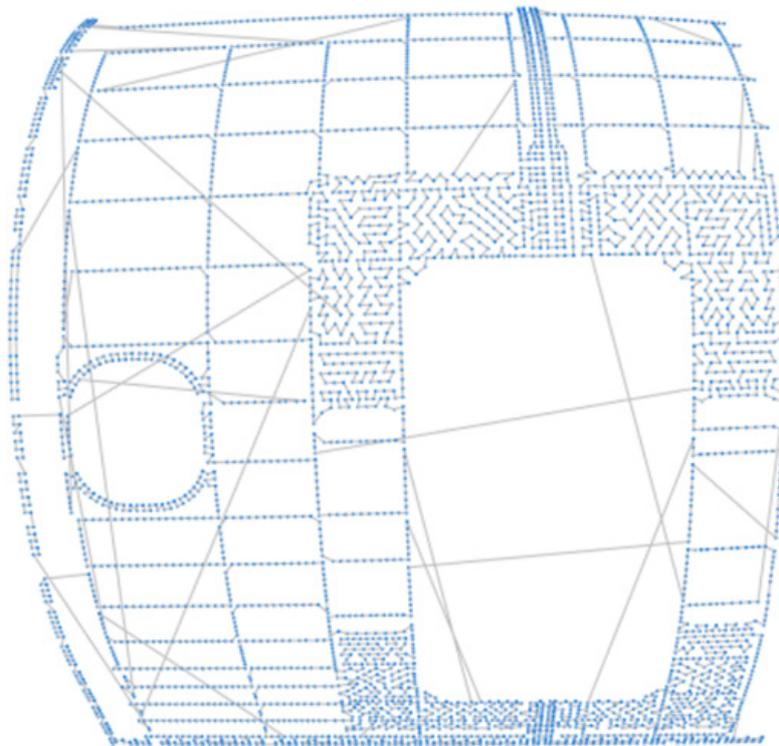


Figura 8 - Melhor solução encontrada para a instância 2  
 Fonte: Os autores

## 5. CONCLUSÃO

A partir dos resultados apresentados pode-se concluir que a implementação da heurística de Lin-Kernighan na linguagem de programação *Python* foi executada com sucesso. Para as instâncias da literatura e de menor tamanho a velocidade de resolução é aceitável, levando-se em consideração que a solução implementada ainda pode ser aperfeiçoada. Já para as instâncias industriais, os resultados encontrados demonstram potencial da solução para ser utilizada como método de sequenciamento de rebites, uma vez que as trajetórias otimizadas apresentaram um ganho em distância de aproximadamente 30% quando comparadas com o sequenciamento feito na prática.

Como trabalhos futuros, propõe-se otimizar o algoritmo incluindo e testando os refinamentos sugeridos por Kernighan (1973), bem como outras melhorias sugeridas e implementadas em variações modernas da heurística. Com estas melhorias as instâncias industriais devem apresentar uma maior performance de resolução convergindo em melhores soluções. Além disso, para essas instâncias é desejado que a função de custo passe a incluir todos os parâmetros relevantes de cada rebite e não apenas a localização, com objetivo de estudar de maneira mais assertiva o tempo de trabalho do equipamento reduzido pela heurística, e não apenas a distância.

Para resolução de instâncias industriais ainda maiores propõe-se um estudo para aplicação de soluções agrupadas por atributos de rebite e a revisão do tipo de estrutura numérica adotada para representar as localizações dos rebites.

Por fim, espera-se que a implementação em *Python*, disponível *online* gratuitamente, colabore com entusiastas e pesquisadores da área, auxiliando no entendimento da heurística de Lin-Kernighan e incentivando novos estudiosos na área de pesquisa do Problema do Caixeiro Viajante.

## Agradecimentos

Frederico de Castro Neto e Edilaine Martins Soler agradecem ao CNPq (Processo nº 314711/2020-1) e à FAPESP (Processo nº 2013/07375-0).

## Referências

Applegate, David, Robert Bixby e William Cook. 1994. "**Finding Tours in the TSP.**" *Institute for Discrete Mathematics, Universitat Bonn*: 59.

Applegate, David, William Cook e André Rohe. 2003. "**Chained Lin-Kernighan for Large Traveling Salesman Problems.**" *INFORMS Journal on Computing* 15(1): 82–92.

Bigoney, Burton e Nicholas Huddleston. 2017. "**Automated Riveting of C-130J Aft Fuselage Panels.**" *SAE International*.

Castro, Frederico. 2022. "**Lin-Kernighan Heuristic in Python.**" [https://github.com/kikocastroneto/lk\\_heuristic](https://github.com/kikocastroneto/lk_heuristic).



- Guariente, P. et al. 2017. **"Implementing Autonomous Maintenance in an Automotive Components Manufacturer."** *Procedia Manufacturing* 13: 1128–34. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.174>.
- Helsgaun, Keld. 1998. **"An Effective Implementation of the Lin-Kernighan Traveling Salesman Heuristic"**.
- Johnson, David S. 1990. **"Data Structures for Traveling Salesmen."** *Lecture Notes in Computer Science* 447 LNCS: 287.
- Kernighan, S. Lin e B. W. 1973. **"An Effective Heuristic Algorithm for the Traveling-Salesman Problem."** *Operations Research* 21(2): 498–516.
- Li, Jun et al. 2014. 19 IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline). **"Colored Traveling Salesman Problem and Solution."** IFAC. <http://dx.doi.org/10.3182/20140824-6-ZA-1003.01403>.
- Li, Xueguang et al. 2009. **"Research on Application of NC Program Optimization Based on TSP."** *2009 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, ICMA 2009*: 1493–98.
- Nedjatia, Arman, e Béla Vizvárib. 2020. **"Robot Path Planning by Traveling Salesman Problem with Circle Neighborhood: Modeling, Algorithm, and Applications."** <http://arxiv.org/abs/2003.06712>.
- Reinelt, Gerhard. 1995. **"Tsplib 95."** *Institut für Angewandte Mathematik, Universität at Heidelberg, Germany*: 1–16. <http://comopt.ifi.uni-heidelberg.de/software/TSPLIB95/>.
- Rita, Gamberini, Galloni Luca, Lolli Francesco e Rimini Bianca. 2017. **"On the Analysis of Effectiveness in a Manufacturing Cell : A Critical Implementation of Existing Approaches."** *Procedia Manufacturing* 11(Junho): 1882–91. <http://dx.doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.328> (Janeiro, 2019).
- Suarez-Ruiz, Francisco, Teguh Santoso Lembono e Quang Cuong Pham. 2018. **"RobotTSP - A Fast Solution to the Robotic Task Sequencing Problem."** *Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation*: 1611–16.
- Wang, Run-xiao. 2012. **"Modeling and Analyzing of Variation Propagation in Aeronautical Thin-Walled Structures Automated Riveting."** *Assembly Automation* 1: 25–37.
- William J. Cook. 2011. **"In Pursuit of the Traveling Salesman."** Princeton University Press.

# CAPÍTULO 5

## **O SISTEMA DE TRANSPORTE NO COMPLEXO PORTUÁRIO DO ITAQUI EM SÃO LUÍS - MA**

*THE TRANSPORT SYSTEM IN THE PORT COMPLEX OF ITAQUI AT SÃO  
LUÍS - MA*

**Lucas Fontenele Ramos  
Jhennefe Neves Medeiros  
Lucas Almeida Sá  
Witson Andrade Silva**

## Resumo

A cidade de São Luís tem grande importância para o segmento portuário do Brasil e do mundo, pois além de apresentar uma localização privilegiada, possui um dos maiores pontos de distribuição de cargas da América Latina, apresentando portos de grande porte de natureza pública e privada. O estudo caracteriza-se como sendo de natureza bibliográfica e explicativa, de análise qualitativa e quantitativa, e, um estudo de caso único por meio de técnica de análise de conteúdo em função dos dados. O estudo apresenta como objetivo geral compreender a estrutura dos modais de transportes no Complexo Portuário do Itaqui. Observou-se a dependência de uma única via de escoamento de produtos e tráfego de pessoas por meio do modal rodoviário, que funciona como uma interligação com outros modais. O transporte ferroviário tem foco principalmente para o transporte de carga e o complexo portuário do Itaqui apresenta a vantagem de ter acesso a três ramais ferroviários. A infraestrutura, principalmente de acesso ao porto é péssima, contudo, há projetos que prevê a revitalização de rodovias e a construção de ferrovias. Mesmo com alguns entraves, o Complexo Portuário do Itaqui vivencia um período de crescimento exponencial, além do mais o estudo poderá servir de base para o planejamento de operações de cargas, com o intuito de minimizar custos e traçar rotas competitivas. O sistema de transporte para a região é eficiente, mas merece uma maior atenção quanto ao estado das rodovias e expansão das linhas férreas.

**Palavras-chave:** Complexo Portuário do Itaqui. Intermodalidade. Transportes.

## Abstract

The city of São Luís is of great importance to the port sector in Brazil and the world, because in addition to being in a privileged location, it has one of the largest cargo distribution points in Latin America, with large ports of both public and private nature. The study is characterized as being of a bibliographic and explanatory nature, of qualitative and quantitative analysis, and, a single case study through content analysis technique according to the data. The study has as a general objective to understand the structure of transport modes in the Itaqui Port Complex. It was observed the dependence of a single route for the flow of products and traffic of people through the road modal, which works as an interconnection with other modals. Rail transport is mainly focused on cargo transport and the Itaqui port complex has the advantage of having access to three rail branches. The infrastructure, mainly access to the port, is terrible, however, there are projects that foresee the revitalization of highways and the construction of railways. Even with some obstacles, the Itaqui Port Complex is experiencing a period of exponential growth, moreover, the study can serve as a basis for planning cargo operations, with the aim of minimizing costs and tracing competitive routes. The transport system for the region is efficient, but deserves more attention regarding the state of the highways and the expansion of the railway lines.

**Keywords:** Itaqui Port Complex. Intermodality. transport.

## 1. INTRODUÇÃO

A cidade de São Luís apresenta como uma das principais características o fato de possuir um dos maiores complexos portuários da América Latina e o maior do Brasil, sendo essa realidade obtida por meio da presença de grandes portos que movimentam os maiores volumes de carga bruta do país, com grande variabilidade de insumos.

Os transportes são vistos não só como meios que possibilitam locomoção de pessoas, mas também como um dos pilares da sociedade a qual possibilita uma estruturação econômica, tendo em vista todas as suas atividades. Contudo, os sistemas de transportes encontram grandes entraves, seja no modal rodoviário devido a situação da infraestrutura das rodovias, sejam no modal ferroviário com a baixa densidade de linha férreas, seja no modal aeroviário com baixo fluxo de mercadorias, todos esses apresentam entraves que influenciam negativamente o sistema (CNT, 2019).

À medida que as cidades se desenvolvem, concomitantemente, os sistemas de transportes acompanham esse crescimento, dessa forma, evidencia-se a dependência de um para com o outro (BERNUCCI, 2008). O Complexo Portuário do Itaqui está em pleno desenvolvimento e apresenta pontos de grande valia que favoreciam esse crescimento, tais como a proximidade com grandes mercados consumidores e por ser um complexo de água profundas que não apresenta restrições de embarcações, dessa forma, percebe-se a necessidade de explorar e expandir cada vez mais os sistemas de transportes, acarretando do em um desenvolvimento pleno.

O Complexo Portuário do Itaqui com o passar dos anos vem se consagrando como um grande ponto de distribuição de mercadorias na América Latina, em função dos seus portos e volumes de movimentação de cargas, dessa forma, o complexo passou por inúmeras mudanças que acarretaram a atração de investimentos e prospecção de grandes projetos, principalmente no que tange a infraestrutura de transportes.

Por outro lado, a cidade de São Luís apresenta uma maior dependência do modal de transporte rodoviário. Alguns entraves como obras de natureza pública inacabadas, um único meio de escoamento rodoviário da capital com o continente, a integração de malhas ferroviárias são aspectos relevante a serem considerados.

As operações portuárias são diretamente relacionadas a todos os meios de transporte, o que chama atenção ao fato de que a maior parte das rodovias são caracterizadas como ruins ou péssimas, além do mais, o Brasil vivencia de forma plena uma intermodalidade tal como a evidenciada em países mais desenvolvidos. Dessa forma, analisar o sistema de transportes em uma região de grandes perspectivas de crescimento e desenvolvimento econômico são imprescindíveis, principalmente pelo fato de compreender não só o funcionamento da dinâmica, mas identificar falhas e elaborar projetos mais específicos.

Concomitantemente, analisar a dinâmica de transportes, favorece identificar os pontos de entraves das operações, dessa forma, proporciona uma visão ampla que auxilia na adequação de projetos que visam mitigar os entraves. Assim, tendo em vista os potenciais da região, o estudo torna-se relevante para a comunidade científica que terá o

Porto do Itaqui como objeto de estudo identificar os entraves, preceitos e características que permeiam o objeto deste estudo para o desenvolvimento de futuros trabalhos acadêmicos, além do mais, para o ramo econômico, o estudo poderá servir de base para o planejamento de operações de cargas, com o intuito de minimizar custos e traçar rotas competitivas.

O estudo apresenta como objetivo geral compreender a estrutura dos modais de transportes no Complexo Portuário do Itaqui, sendo assim, tornou-se necessário analisar a dependência de cada modal de transporte em relação às operações do Complexo Portuário do Itaqui, destacar as principais projeções em relação aos projetos de transportes em atendimento ao Complexo Portuário do Itaqui e identificar os principais entraves quanto aos modais de transportes no Complexo Portuário do Itaqui.

## 2. METODOLOGIA

O estudo caracteriza-se como sendo de natureza bibliográfica e explicativa, de análise qualitativa e quantitativa. Segundo Gil (1999), as pesquisas explicativas têm como fundamento básico identificar os fatores que contribuem para a ocorrência de determinado fenômeno. Ao mesmo tempo, Marconi e Lakatos (2001) destacam que estas pesquisas estabelecem relações de causa e efeito por meio das variáveis relativas ao objeto de estudo. Além do mais, menciona-se que quanto a natureza do objeto de estudo, este caracteriza-se como um estudo de caso único por meio de uma técnica de análise de conteúdo em função dos dados.

Considerou-se estudos publicados em periódicos *online*, disponibilizados em plataformas como o *Scielo*, Google Acadêmico, a Biblioteca Virtual Brasileira de Teses e Dissertações e pela consulta de periódicos específicos na área de Sistemas de Transportes.

Além do mais, visando a caracterização dos transportes no Brasil e na Cidade de São Luís, serão utilizados também dados oriundos dos relatórios de órgãos e autarquias governamentais, tais como a Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ), a Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), a Confederação Nacional da Indústria (CNI), a Confederação Nacional dos Transportes (CNT) e da Empresa Maranhense de Administração Portuária (EMAP).

Os estudos primários da pesquisa serão o Plano Mestre do Itaqui e o Plano de Desenvolvimento e Zoneamento do Itaqui. Considerou-se estudos publicados em português e inglês, sendo os principais descritores: Porto do Itaqui, Sistema de Transportes e Infraestrutura de Transporte. Além do mais, serão considerados estudos publicados entre os períodos de 2000 a 2022.

### 3. O COMPLEXO PORTUÁRIO DO ITAQUI

Localizado no estado do Maranhão, no município de São Luís, especificamente na Baía de São Marcos (Figura 1), o Complexo Portuário do Itaqui é formado por um Porto Público (Porto Organizado), o Porto do Itaqui, e, por dois Terminais de Uso Privado (TUPs), o Terminal Marítimo de Ponta de Espera e pelo TUP Alumar. Vale salientar que ainda existem três terminais em fase de projeto: Terminal Portuário de São Luís, Terminal Portuário de Alcântara e o Terminal Portuário do Mearim (o único que não é localizado no município de São Luís).

Com exceção dos Portos Privados, o Porto Organizado é administrado pela Empresa Maranhense de Administração Portuária (EMAP), o qual é responsável pela movimentação de graneis líquidos, graneis sólidos e carga em geral, com berços que variam de 11,5m a 18,5m de profundidade e cais de 200m a 410m (BRASIL, 2018).



Figura 1 – Localização do Complexo Portuário do Itaqui  
Fonte: Brasil (2018)

O TUP ALUMAR possui um cais contínuo de 480m de comprimento, com profundidades de 13m, sendo suas operações direcionadas aos embarques de alumina, soda cáustica, óleo combustível, bauxita e carvão (BRASIL, 2018).

O Terminal Marítimo de Ponta da Espera, pertencente a mineradora Vale é composta por 5 berços de atracação de navios, divididos em 3 píeres, com comprimentos que variam de 490m a 960m, e, profundidades que variam de 21m a 25m, sendo esse terminal responsável pelo trabalho de granel sólido (BRASIL, 2018).

### 3.1 TUP Alumar

O TUP ALUMAR foi inaugurado em julho do ano de 1984, pelo Consórcio de Alumínio do Maranhão – ALUMAR, com suas instalações portuárias localizadas as margens do Estreito dos Coqueiros de encontro com o Rio dos Cachorros, sendo compreendido pelo par de coordenadas geográficas 2°41'15"S; 44°21'21"W, com o acesso aquaviário pela Baía de São Marcos (PLANO MESTRE DO COMPLEXO DO ITAQUI, 2018).

Possuindo uma a infraestrutura portuária de dois berços, logo denominados Berço 1 (260m) e Berço 2 (220m). O Porto dispõe de uma profundidade de 13 metros, mas sendo apenas autorizado o calado de 11,53 metros, desta forma a capacidade de receber navios com 229 metros de comprimento e um porte bruto de 83.500 toneladas, sendo assim inseridos na categoria Panamax, ou seja, a mesma categoria de navios que atracam no Berço 100 do Porto do Itaqui, o qual é objeto de estudo deste trabalho (PLANO MESTRE DO COMPLEXO DO ITAQUI, 2018).

### 3.2 TUP Terminal Marítimo de Ponta da Madeira

O Terminal Marítimo de Ponta da Madeira, teve a sua construção nos anos de 1984 e 1985, com registro de suas primeiras operações no ano de 1986, o terminal tem a sua localização sendo às margens da Baía de São Marcos, sendo compreendido pelo par de coordenadas geográficas 02°34'0" S;44°23'0" W, sua administração é gerida pela mineradora Vale S/A (PLANO MESTRE DO COMPLEXO DO ITAQUI, 2018). O TUP tem a sua infraestrutura portuária composta de modo por 3 píer, na qual lhe foram denominados de Píer I, Píer III e Píer IV, sendo o único que a sua área de acostagem é fora de terra firme denominada construção "Offshore". (PLANO MESTRE DO COMPLEXO DO ITAQUI, 2018).

O TUP Terminal Marítimo de Ponta da Madeira, é capaz de receber os maiores navios minerais do mundo em operação que são os Valemax, que tem um comprimento de 365 metros e um porte bruto de 400.000 toneladas (VALE,2016). As operações são caráter único de embarque minério de ferro e mineiro de manganês, sendo um desses fatores, o diferencial para ser caracterizado como o maior porto em movimentação no País (ANTAQ, 2019).

### 3.3 TUP Terminal Marítimo São Luís

O TUP terminal Marítimo São Luís é um projeto de construção pelo consórcio liderado pela empresa chinesa a *China Communications Construction Company* (CCCC) sendo a acionista majoritária, o consórcio tem composto a parcela restante as empresas brasileiras WPR), Wtorre e Lyon Capital. O projeto conta com um orçamento de 2 bilhões de reais investidos em uma área com 2.000.000m<sup>2</sup>. (IMIRANTE, 2018).

A estrutura de acostagem a ser construída será de seis berços apresentando calados que variam de 13,5 metros a 16,5 metros de profundidade (PLANO MESTRE DO COMPLEXO DO ITAQUI, 2018).

### 3.4 TUP Terminal Marítimo do Mearim

O TUP Terminal Marítimo do Mearim será um investimento capeado e orçado em 2,6 bilhões de reais pela Aurizona Empreendimento S/A (AESAs), instalando-se a margem leste da Baía de São Marcos, a área compreendida pelo investimento será de 598,2 hectares na zona rural da cidade de Bacabeira (IMIRANTE, 2015).

O TUP contará com quatro berços fazendo uma área de acostagem de 1.362 metros e esta área de acostagem em projetos de expansão podendo chegar a 4.000 metros, o calado irá variar de 12,8 metros a 14,6 metros e a movimentação anual estimada é de 5 milhões de toneladas em graneis sólidos, carga geral e celulose, logo na Figura 2.2 tem-se a dimensão do projeto do terminal (PLANO MESTRE DO COMPLEXO DO ITAQUI, 2018).

## 4. MODAIS DE TRANSPORTE

O Brasil possui uma matriz de transporte em desequilíbrio o que gera sobrecarga no modal rodoviário. As rodovias são responsáveis por cerca de 60% do escoamento de carga (ALVES FILHO, 2018) e este já demonstra reflexos de crise, como ocorreu na greve dos caminhoneiros, também conhecida como crise do diesel que ocorreu entre maio e junho de 2018, na qual expôs para todo o mundo a dependência do setor rodoviário para a movimentação de cargas.

Em todos os ramos foi possível notar reflexos da greve. Os que conseguiram continuar suas atividades utilizavam outro tipo de transporte, como os aeroportos de Guarulhos e Galeão, não sofreram com a crise do diesel, pois o querosene de aviação chega a esses aeroportos por meio de dutos (GUIMARÃES, 2018).

### 4.1 Modal Rodoviário

Na análise do Complexo Portuário é imprescindível a compreensão dos acessos terrestres, pois é fundamental para a manutenção da atividade portuária, pois as mercadorias advêm dos modais de transportes, assim, torna-se relevante a análise das rodovias, ferrovias e aeroportos.

Inicialmente ao analisar o modal de transporte rodoviário, salienta-se a importância da hinterlândia do porto, ou seja, a área de influência de sua atividade comercial, atendida fisicamente pelo porto (VARGAS; LUZ; COELHO, 2018).

As principais rodovias com relação direta do porto são a BR – 135 e a BR – 222 (Figura 2), sendo essa coincidentes nos trechos entre as cidades de Itapecuru Mirim – MA e Miranda do Norte – MA, onde são analisadas unicamente como BR – 135.





Figura 2 – Localização da BR – 135 e BR – 222  
 Fonte: Brasil (2018)

Ao longo das rodovias, fica evidente a dificuldade que é enfrentada, principalmente no que se refere à velocidade, elevados fluxos de veículos pesados, falta de sinalização, e, principalmente, na maior parte dos trechos, as rodovias serem de pista simples.

De modo geral, para as duas rodovias analisadas na hinterlândia, não foram identificados grandes polos geradores de tráfego ou gargalos logísticos, entretanto, ambas se constituem no principal acesso ao Complexo Portuário do Itaqui, além de serem muito utilizadas pelo tráfego urbano, sendo, portanto, vias com fluxo intenso de veículos leves e pesados. Ademais, constata-se, próxima a rota analisada, a existência da Estrada de Ferro Carajás (EFC), no entanto, devido ao fato de não existirem cruzamentos em nível, não existem gargalos originados da interação entre os dois modais (BRASIL, p. 58, 2018).

Segundo dados do Laboratório de Transportes e Logística da Universidade Federal de Santa Catarina (2018), os pontos de maior criticidade são aqueles que ficam no entorno do porto, ou seja, na área urbanizada, contudo, vale ressaltar que o transporte de carga por meio rodoviário atende exclusivamente ao Porto Organizado do Itaqui. Os Portos da Alumar e da Vale não necessitam desses serviços, pois não possuem movimento rodoviário de carga.

O principal acesso por meio do modal rodoviário ocorre por meio da Avenida Engenheiro Emiliano Macieira, a qual passou a ser um novo percurso a ser traçado como projeção da BR – 135, o qual teve o foco de captar o fluxo de veículos pesados que tinham como origem o porto e passavam antes pelos centros urbanos da cidade e, direcioná-los diretamente ao porto, minimizando com isso também os custos e otimizando o tempo (Figura 3).



Figura 3 – Percurso antigo e novo da BR – 135 no centro urbano de São Luís  
 Fonte: Brasil (2018)

Segundo levantamentos referentes à área de planejamento da Prefeitura de São Luís (2016, p. 41):

O município de São Luís possui a BR 135, rodovia federal, como única via de ligação terrestre entre a Ilha e o território continental. Este eixo rodoviário é também a única porta de entrada e saída para os outros três municípios que compõem a Ilha (São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa) e como explica AGUIAR (2013), é por meio desta rodovia que os ônibus intermunicipais e interestaduais chegam ao Terminal Rodoviário de passageiros da cidade. Além disso, todo o transporte de carga feito por caminhões que abastecem o comércio da cidade também é feito por esta rodovia e é despejado nas diversas regiões da cidade pelos principais corredores viários.

Chama atenção ao fato de que a cidade de São Luís apresenta apenas uma saída o que faz com que o fluxo de veículos pesados com mercadorias divida espaço com veículos leves de passageiros.

## 4.2 Modal Ferroviário

No quesito ferroviário, o Complexo Portuário do Itaqui é bem servido, pois apresenta em relação direta com três linhas ferroviárias, sendo essas a Ferrovia Transnordestina Logística S.A. (FTL), a Estrada de Ferro Carajás (EFC) – concessionada à Vale S.A. e a Ferrovia Norte-Sul – Tramo Norte (FNSTN), operada pela VLI Multimodal S.A. (Figura 4), as quais transportam cargas com destinos aos portos, sendo o Porto do Itaqui o que recebe mercadorias das três linhas distintas (CSN, 2016).

As instalações do Terminal Marítimo de Ponta da Madeira (TMPM) recebem cargas da EFC e da FNSTN. E, por fim, as instalações, em fase de projeto, do Terminal Portuário do Mearim e do Terminal Portuário de São Luís preveem conexão com a malha da EFC (BRASIL, 2018).

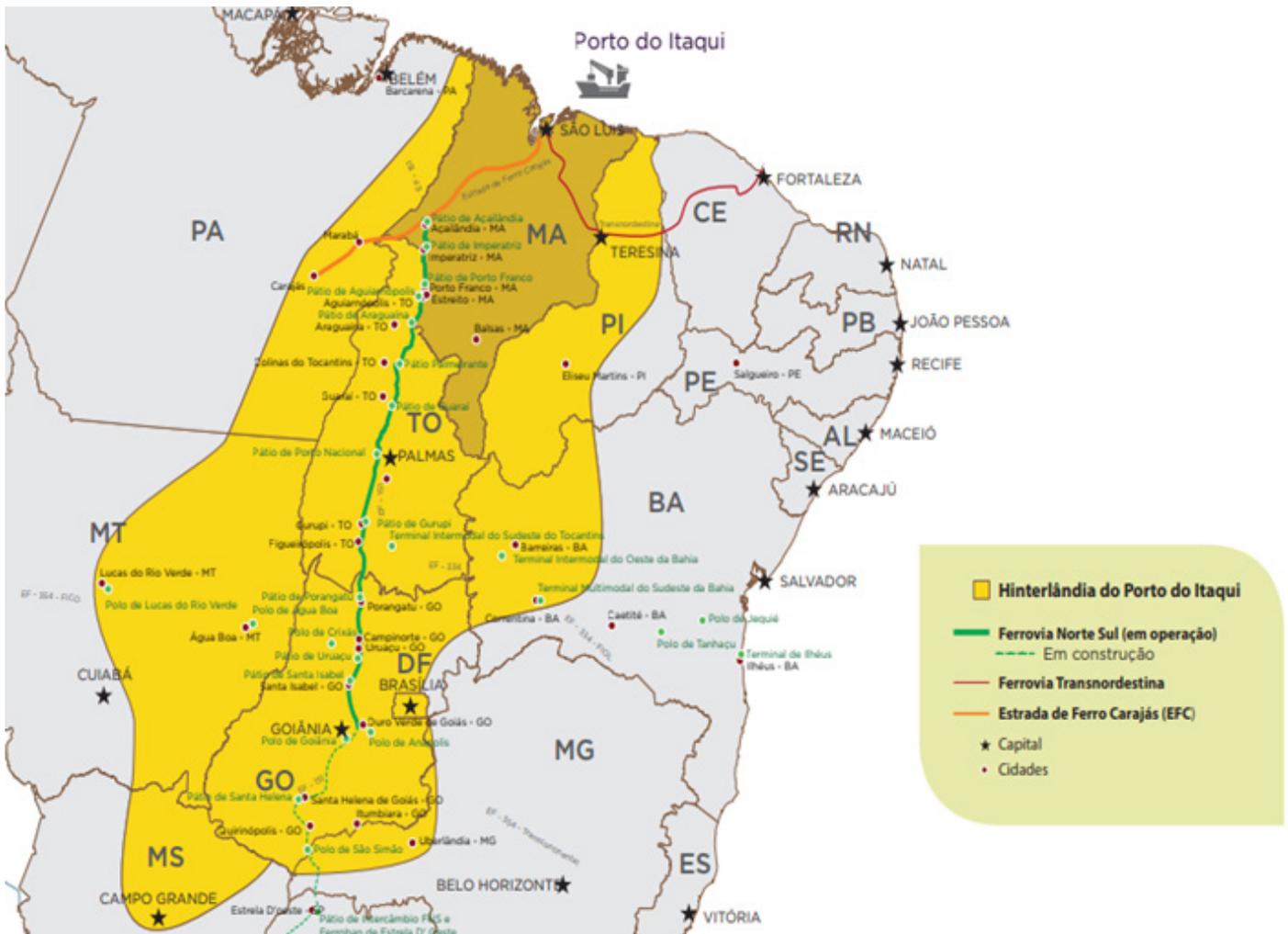


Figura 4 – Malha ferroviária do Porto do Itaqui  
Fonte: EMAP (2022)

O modal ferroviário apresenta uma maior representatividade no transporte de cargas de graneis sólidos mineral os quais tem destino o Porto do Itaqui, contudo, ao analisar as mercadorias que tem origem o Porto do Itaqui, as mercadorias que mais se destacam são os graneis líquidos, no qual destaca-se o combustível.

Ao analisar os dados brutos, percebe-se que mais de 90% de toda carga de granel sólido enviada ao complexo portuário do Itaqui, corresponde por minério de ferro, onde o Terminal Marítimo de Ponta da Madeira, pertencente a Vale, é líder absoluto.

Em função do granel líquido, o fato de os combustíveis serem os produtos líderes com origem no complexo, reforçar ainda mais a situação de "hub" / "entrepósito" para esse tipo de mercadoria para toda a região Norte-Nordeste do Brasil (EMAP, 2016).

## 4.4 Modal Aquaviário

O Maranhão possui vários rios navegáveis apesar de se encontrar na região nordeste do país, por ser uma área de transição de biomas, herdou muitas características da região amazônica. As hidrovias possuem baixíssimo custo instalação e operação quando comparadas aos outros modais principais. Se destaca inclusive pela sua eficiência energética. Porém sua baixa frequência e disponibilidade o tornam pouco viável para uso intenso. Além disso há as políticas de conservação as quais limitam o uso dos rios como vias navegáveis.

Os Rios Tocantins e Parnaíba, localizados, respectivamente, no Sul e no leste maranhense, são responsáveis por delimitar as fronteiras do estado. O Rio Tocantins apresenta-se como uma alternativa de transporte de cargas para Imperatriz, um dos maiores centros urbanos maranhenses, porém se limita a atender somente a região sul do estado, diferente do Rio Parnaíba que corta o estado em todo o contorno de sua fronteira com o Piauí, passando por várias cidades como: Magalhães de Almeida, Milagres do Maranhão, Coelho Neto, Timon, Parnarama, Barão de Grajaú, Benedito Leite e, finalmente, as cidades de Tasso Fragoso e Alto Parnaíba no sul do estado. Por meio da Figura 9, observa-se o mapa das hidrovias do estado do Maranhão.

Segundo a Administração das Hidrovias do Nordeste (AHINOR), 11% do transporte de cargas no Maranhão é feito por hidrovias. Atualmente, esses rios são destinados para transporte de cargas para economia de subsistência, o que dificulta a coleta precisa de dados sobre este modal (BUSS, 2019).

## 4.5 Modal Aeroviário

A cidade de São Luís dispõe de um único aeroporto, de natureza internacional, com voos regulares para diversas regiões do Brasil. No aspecto internacional, não recebe voos regulares, apenas voos do tipo "chater", ou seja, voos fretados oriundos de outros países em determinados períodos. O aeroporto (Figura 5) é a única porta de entrada e saída via área para toda a região Norte do estado.



Figura 5 – Localização do Aeroporto Internacional de São Luís  
 Fonte: São Luís (2016)

Mais uma vez, percebe-se a importância da BR – 135 para o desenvolvimento da cidade de São Luís, pois além do seu aspecto de modal de transporte rodoviário, funciona como um meio de interligação entre os modais marítimos e aeroviário, pois por meio da rodovia, permite o acesso aos pontos de escoamento de mercadorias e passageiros.

Por mais que seja um modal de transporte, este é caracterizado pela urgência e agilidade, mas em comparativo com outros modais ainda não é tão expressivo, principalmente pelo fato de não poder transportar grandes volumes de cargas (ILOS, 2017). Para efeitos de comparação, só o modal rodoviário corresponde por mais de 60% de todo transporte de cargas no país (SOARES FILHO, 2019). Por esse motivo, o modal aeroviário não será abordado com detalhes, devido sua baixa expressão, mesmo que apresente fatores que chama atenção, tais como o baixo custo de instalação e o elevado custo de operacionalização (SOARES FILHO, 2019). Contudo, ao considerar a cidade de São Luís, destaca-se a ligação direta com a BR – 135.

## 5. O COMPLEXO PORTUÁRIO DAS PRÓXIMAS DÉCADAS

Um dos fatores de crescimento econômico de uma nação, está diretamente relacionado as facilidades de mobilidade e acessibilidade de sua população em termos de deslocamento urbano, entre regiões e países, bem como o escoamento de sua produção de mercadorias de maneira que cheguem aos pontos de consumo, seja no contexto nacional ou internacional.

Entende-se que o grande desafio do Maranhão no transporte de cargas é fazer uma ligação entre o norte e o sul do estado de forma a permitir o transporte eficiente das cargas transportadas entre essas duas mesorregiões. Uma vez que para que se chegue da mesorregião Norte para mesorregião Sul maranhense (e vice-versa) é necessário passar por pelo menos umas das outras três mesorregiões, a ligação entre os dois polos principais beneficia a integração do transporte de cargas no Estado (SOARES FILHO, 2019).

Além do mais, destaca-se também algumas dificuldades no sistema já existente na estrutura de transporte no país, como bem destacou Silva (2013) ao pontuar os principais entraves em relação a infraestrutura de transportes, conforma identificado pela Figura 6.

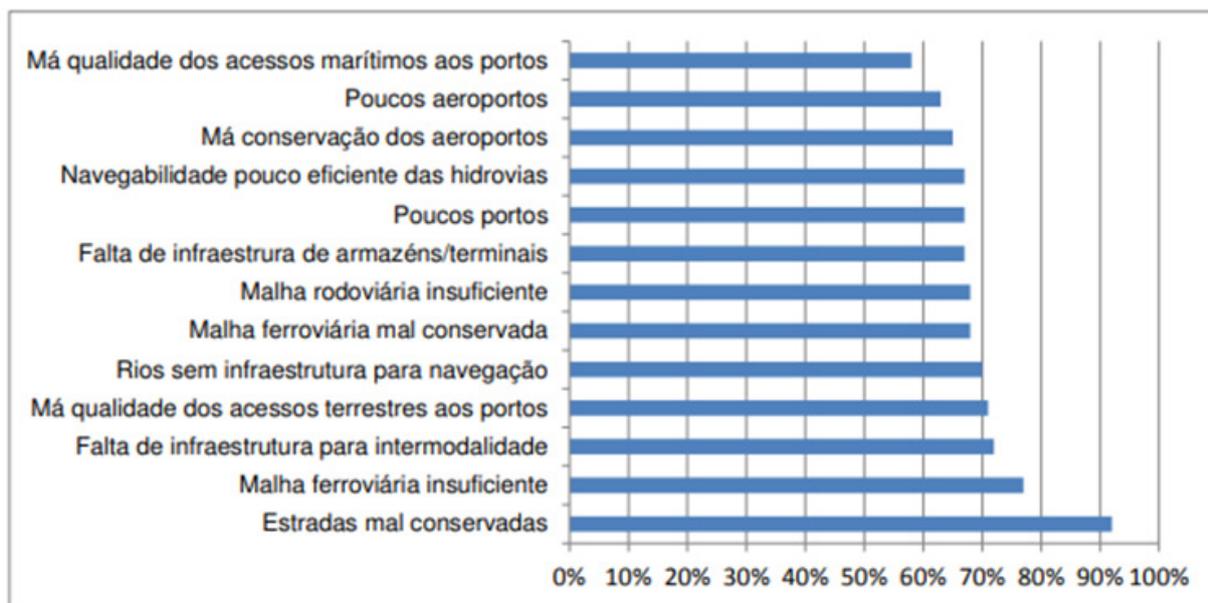


Figura 6 – Entraves da infraestrutura de transportes

Fonte: Silva (2013)

O Porto do Itaqui é administrado por um modelo de gestão identificado como *Landlord*, onde as empresas são responsáveis pelos equipamentos que operam, sendo assim, um fator que influencia positivamente no planejamento e adaptações de mercado, contudo, esse modelos apresentam pontos de falhas que podem ser identificados por uma sobrecapacidade em função da expansão de operadores privados e aumento nos esforços de promoção do porto entre autoridades portuárias e operadores portuários, o que passa a exigir um maior planejamento portuário (PLANO DE DESENVOLVIMENTO E ZONEAMENTO DO ITAQUI, 2021).

Considerando a importância do Porto do Itaqui para a economia local e nacional, estima-se que até o ano de 2060 só o Porto do Itaqui movimentará mais de 68,0 milhões de toneladas entre cargas de graneis líquidos, graneis sólidos, graneis sólido mineral, cargas gerais entre outros, conforme observado pela Figura 7, onde mostra a evolução de cargas

desde o ano de 2014 até o ano de 2060.

Considerando os dados do Plano Metre do Itaqui (BRASIL, 2018), as maiores projeções são de natureza de graneis sólidos vegetais os quais serão impulsionados pelos grandes investimentos de infraestrutura desse segmento na área de influência do Porto do Itaqui, bem como o aumento exponencial da capacidade instalada do Terminal de Grãos do Maranhão (TEGRAM), sendo a soja o principal produto desse cenário, com uma taxa de crescimento 2,5% ao ano, prevendo movimentar cerca de 19,6 milhões de toneladas até 2060.

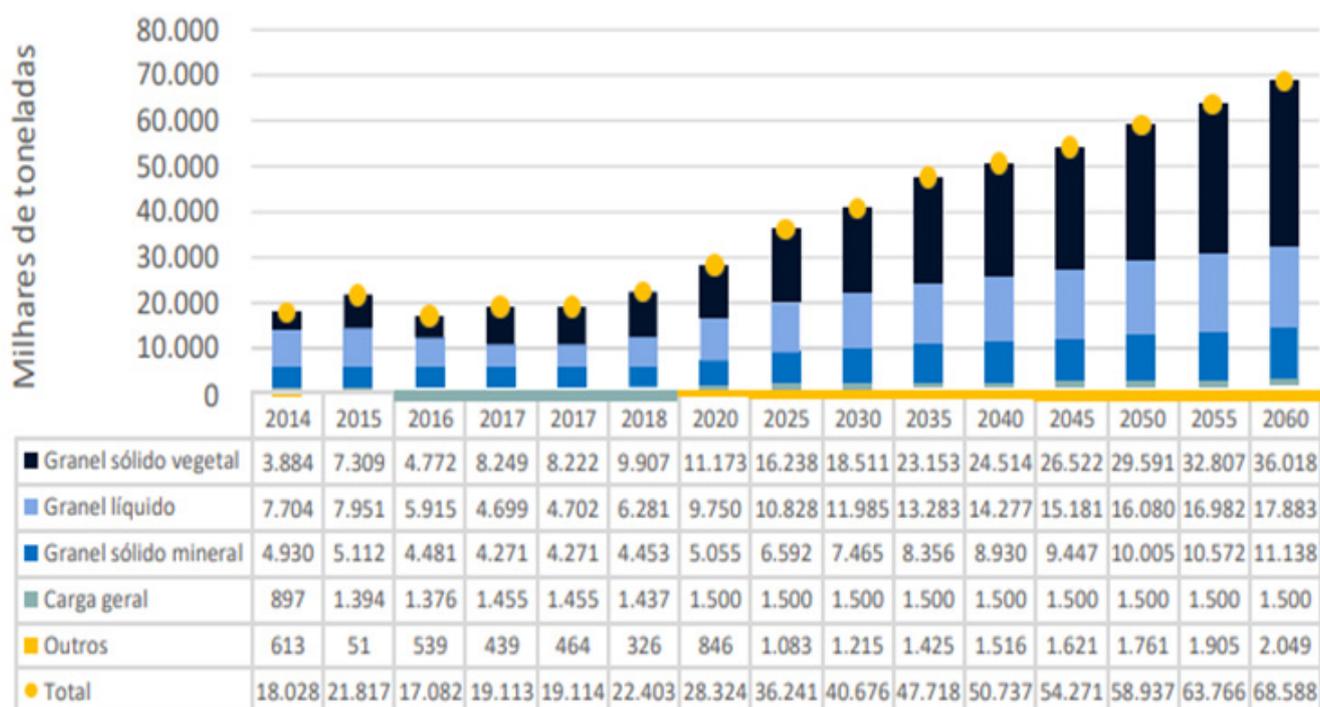


Figura 7 - Projeção de demandas de cargas para o Porto do Itaqui até 2060

Fonte: Plano de Desenvolvimento e Zoneamento do Itaqui (2021)

Além do mais, ainda segundo Plano Metre do Itaqui (BRASIL, 2018), segundo pesquisa estima-se dois cenários, os pessimistas em que prevê uma movimentação de 58,5 milhões de toneladas e o otimista em que prevê uma movimentação de até 78,7 milhões de toneladas até 2060. A Figura 8 ilustra as proporções para o principal segmento de cargas do Porto do Itaqui até o ano de 2060.

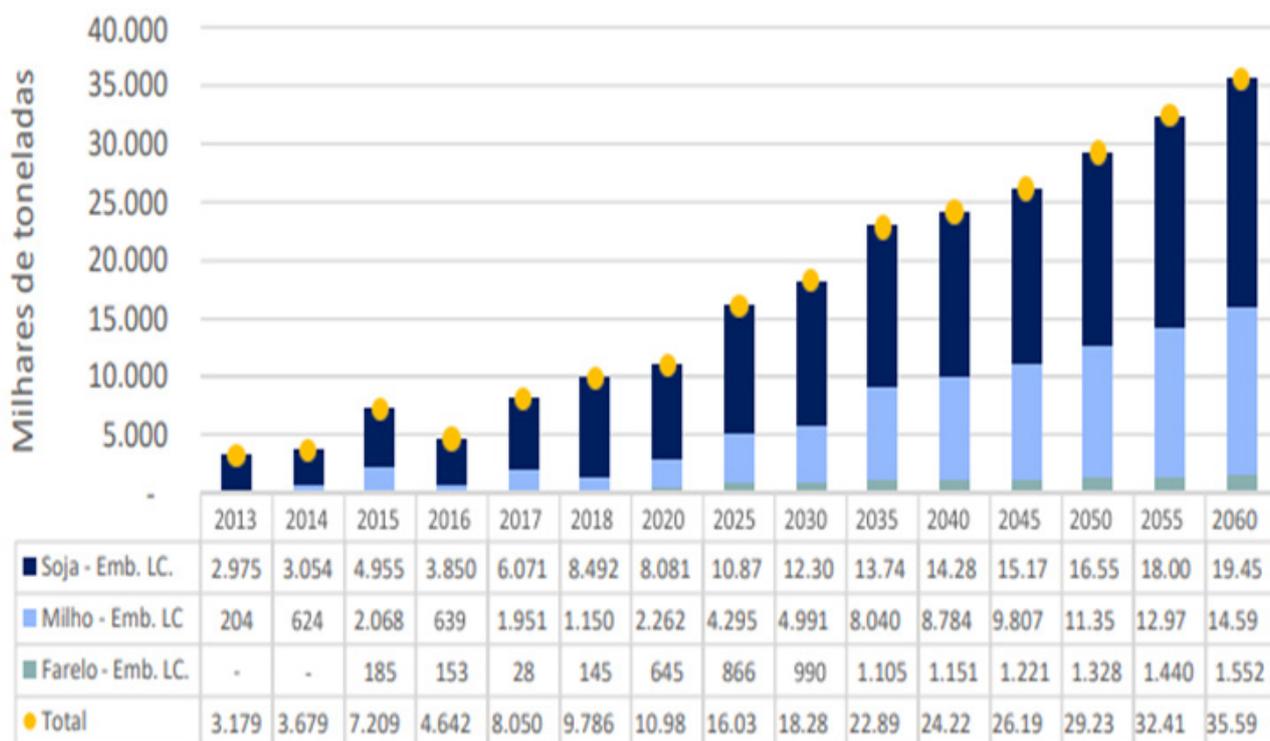


Figura 8 - Histórico e projeção de demanda até o ano de 2060  
 Fonte: Plano de Desenvolvimento e Zoneamento do Itaqui (2021)

Quando analisado as movimentações do TUP ALUMAR, o principal produto trabalhado é a alumina, sendo só o ano de 2015 movimentado 14,4 milhões de toneladas, sendo esse ano de referência responsável por 19,5% de todas as atracações totais do Complexo Portuário do Itaqui (PLANO DE DESENVOLVIMENTO E ZONEAMENTO DO ITAQUI, 2021). Por meio da Figura 9 observa-se os principais produtos movimentados pelo TUP ALUMAR, além da alumina.

3	Natureza de carga	Sentido	Tipo de navegação	Movimentação 2015 (t)	Movimentação 2016 (t)	Participação relativa 2016
Bauxita	Granel sólido	Desembarque	Cabotagem	9.361.490	9.001.057	63,6%
Alumina	Granel sólido	Embarque	Longo curso	3.454.404	3.701.025	26,1%
Soda cáustica	Granel líquido	Desembarque	Longo curso	756.114	1.019.647	7,2%
Derivados de petróleo (exceto GLP)	Granel líquido	Desembarque	Cabotagem	266.462	239.463	1,7%
	Combustíveis e químicos					
Bauxita	Granel sólido mineral	Desembarque	Longo curso	-	200.133	1,4%
Carvão mineral	Granel sólido mineral	Desembarque	Longo curso	351.534	-	0,0%
Outros	Outros	Outros	Outros	259.295	-	0,0%
Total Geral	-	-	-	14.449.299	14.161.324	-

Figura 9 - Cargas do TUP ALUMAR  
 Fonte: Plano Mestre do Itaqui (2018)

O Terminal Marítimo de Ponta da Madeira trabalha majoritariamente com minério de ferro, com uma média de 98,8%, seguindo de manganês com uma expressão de 1,1%, sendo focadas para embarque e navegação de longo curso. Segundo dados da Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ), o porto da Ponta da Madeira é o maior em movimentação de minério de ferro no Brasil, sendo que só no ano de 2021 foi batido o recorde de 182,3 milhões de toneladas movimentadas (IMIRANTE, 2022). Por meio da Figura 10, observa-se a movimentação de produtos no Porto de Ponta da Madeira.

Carga	Natureza de carga	Sentido	Tipo navegação	Movimentação 2015 (t)	Movimentação 2016 (t)	Participação relativa 2016
Minério de ferro	Granel sólido	Embarque	Longo curso	123.113.135	145.477.610	97,9%
Minério de ferro	Granel sólido	Embarque	Cabotagem	-	1.895.322	1,3%
Manganês	Granel sólido	Embarque	Longo curso	1.317.089	1.160.596	0,8%
Manganês	Granel sólido	Embarque	Cabotagem	143.050	137.476	0,1%
Total	-	-	-	124.573.274	148.671.004	100%

Figura 10 - Cargas do Porto de Ponta da Madeira  
 Fonte: Plano Mestre do Itaqui (2018)

Como o minério de ferro é o principal produto exportado pelo Complexo Portuário do Itaqui, convém analisar os valores totais em relação ao que fora projetado e observado, considerando os cenários tendencial, otimista e pessimista, ilustrados pela Figura 11.

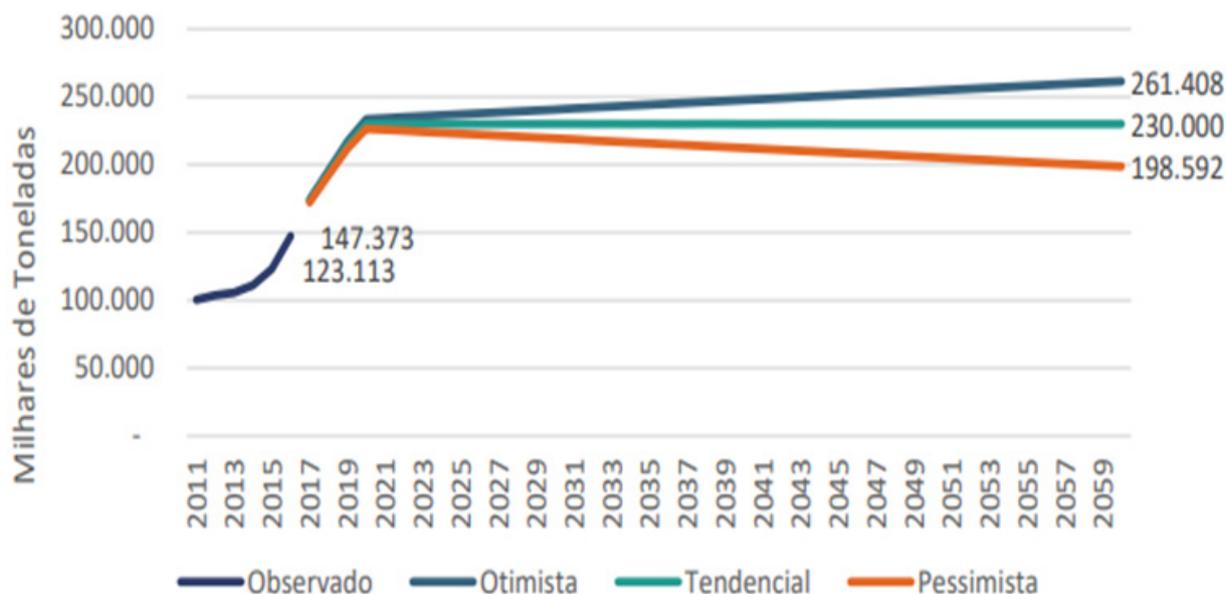


Figura 11 - Demanda de minério de ferro no Complexo Portuário do Itaqui  
 Fonte: Plano Mestre do Itaqui (2018)

No ano de 2016, o Complexo Portuário do Itaqui movimentou um total de 179,9 milhões de toneladas. Entre as naturezas de carga movimentadas no Complexo, destaca-se os granéis sólidos minerais, que representaram 92% da sua movimentação total em 2016, seguidos pelos granéis líquidos – combustíveis e químicos (4%), granéis sólidos vegetais (3%) e carga geral (1%). No Porto do Itaqui, predominam as movimentações de derivados de petróleo e do complexo de grãos (soja, milho e farelo de soja), além de

menores volumes de fertilizantes, celulose, carvão mineral, ferro-gusa, concentrado de cobre, clínquer, entre outros (PLANO MESTRE DO ITAQUI, p. 272, 2018).

Nesse cenário, analisa-se por meio das Figuras 12 e 13 as principais características bem como as projeções de movimentação em função do tipo de viagem e tipo de cargas.

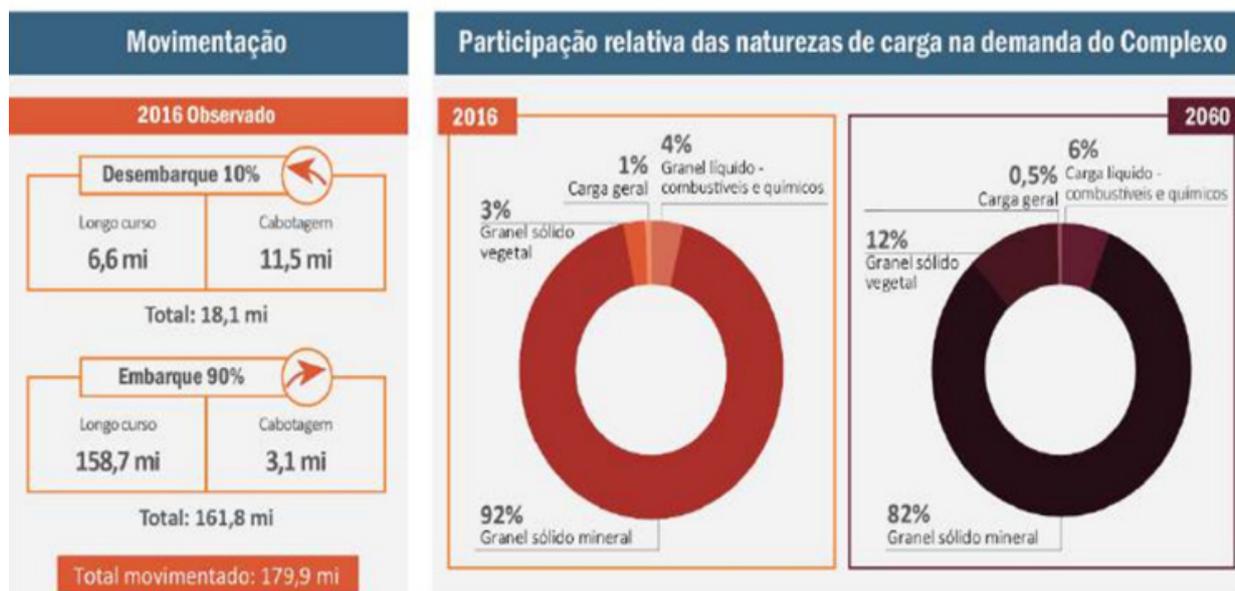


Figura 12 - Movimentação observada em 2016  
Fonte: Plano Mestre do Itaqui (2018)

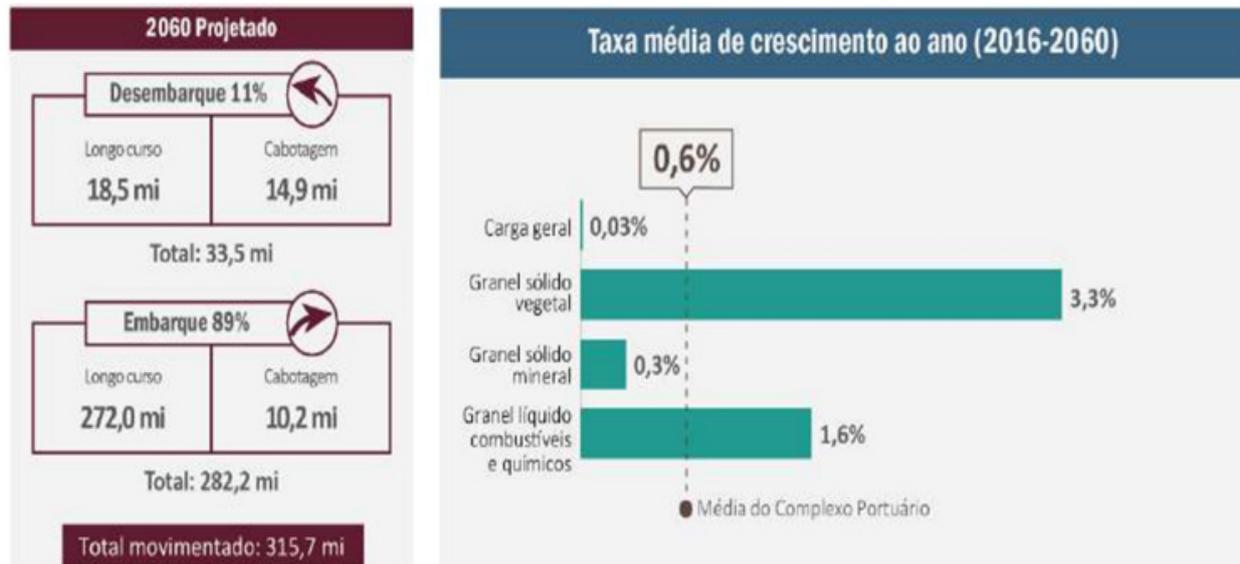


Figura 13 - Projeção para 2060  
Fonte: Plano Mestre do Itaqui (2018)

No que tange à intermodalidade, devido o crescimento do Complexo Portuário do Itaqui, observa-se um incremento massivo de investimentos no setor de transportes, só no que tange às ferrovias, esse modal prevê a predominância de até 84% do total de cargas movimentadas. Estima-se que até 2060 a comercialização só de soja e milho ultrapasse os 30 milhões de toneladas, sendo que destes a maior parte chegue por meio de ferrovias (PLANO MESTRE DO ITAQUI, 2018).

Até 2045, com a construção da Ferrovia da Integração Centro-Oeste, ilustrada pela Figura 14, entre os estados de Mato Grosso e Rondônia, possibilitará no aumento de movimentação de grãos para o Porto do Itaqui.



Figura 14 - Área de influência da Ferrovia da Integração Centro-Oeste  
 Fonte: Plano Mestre do Itaqui (2018)

No segmento rodoviário, destaca-se a restauração de rodovias estaduais que fazem parte do “Anel da Soja”, sendo essas a MA-006, MA-007, MA-132 e a MA-140, favorecendo a região em os estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia (MATOPIBA). O segmento rodoviário de acesso ao porto, por mais que prevê investimentos, ainda assim a situação é precária, principalmente no acesso direto, como destacou Barroso et al. (2019) ao analisar a única via de acesso terrestre, constatou por meio de uma pesquisa de campo, com base em procedimentos do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT), a condição de péssima, nos dois sentidos da rodovia.

As ferrovias no Maranhão servem quase que de modo unânime para o transporte de cargas, em especial a Estrada de Ferro Carajás (EFC) e a Ferrovia Norte-Sul (FNS), sendo o minério de ferro o principal produto, contudo, há também a movimentação de grãos, em especial a soja que corresponde por 55% das cargas movimentadas pela linha, estes trazidos pela FNS da região sul do estado do Maranhão com destino ao Complexo Portuário do Itaqui (SOARES FILHO, 2019).

A FNS estende-se por 257 km em território maranhense e é responsável pelo transporte de celulose a qual corresponde por 25% das cargas que passam pela linha, bem

como, 10% de combustíveis (EXAME, 2018). Dessa forma, percebe-se também a grande importância do modal ferroviário para o recebimento e escoamento de cargas para os mercados consumidores internos e externos.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Percebe-se dessa forma a importância do Complexo Portuário do Itaqui que está em pleno crescimento e trazendo inúmeros benefícios não só no que tange à suprimentos para a cidade de São Luís, mas também por toda a esfera de infraestrutura, e, no que se refere a nível nacional, um aumento na logística de transportes e minimização de custos, principalmente pelo fato de estar localizado em um ponto estratégico e próximo aos grandes mercados consumidores.

O complexo apresenta uma estrutura densa e consolidada, integrando portos públicos e portos privados, ainda com grandes projetos no segmento. Quanto ao Porto do Itaqui, administrado pela autoridade portuária EMAP, o seu modelo *landford* de gestão proporciona ao mesmo tempo uma autonomia das empresas responsáveis pelas suas máquinas, mas por outro lado gera um aumento de competitividade em relação a autoridade e operadores portuários.

Quanto ao transporte, geograficamente São Luís é uma ilha, contudo, apresenta apenas uma única ligação com o continente por meio da BR-135 que também serve de acesso para o Complexo Portuário, para o Aeroporto, para a Rodoviária, para os Terminais de Passageiros de Ferry-Boat e para acesso ao Complexo Ferroviário, o que chama atenção pela dependência de um único caminho que proporciona circulação mista de veículos leves e pesados.

O complexo tem como principal movimentação de cargas os graneis sólidos, em especial aqueles derivados de minério de ferro, sendo a cidade de São Luís a líder absoluta em movimentação devido as características geográficas da região (portos de águas profundas) que favorecem a movimentação de diversos tipos de navios.

A intermodalidade pode ser analisada pelo fato de o complexo portuário ser o único no Brasil com acesso direto a três linhas férreas, bem como a integração de rodovias federais e estaduais, mesmo que o modal rodoviário ainda apresente grandes problemas de infraestrutura, o que interfere a movimentação bruta de cargas para o Porto, contudo, considerando os avanços, há uma forte preocupação em direcionar investimentos para o segmentos de transportes em atendimento as demandas do Complexo Portuário do Itaqui.

## Referências

- BARROSO, M. M.; REIS JUNIOR, M. G. A.; SOUZA, T. C.; MALUF, R. S. **Avaliação funcional objetiva de pavimento: um estudo acerca do trecho da BR-135 de acesso ao Porto do Itaqui em São Luís - MA**. In: Engenharia 4.0: a era da produção inteligente. / Eduardo Mendonça Pinheiro, Patrício Moreira de Araújo Filho e Glauber Tulio Fonseca Coelho, (Orgs.). — São Luís: Editora Pascal, 2021. 291f.
- BERNUCCI, Liedi Bariani et al. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. 3. ed. Rio de Janeiro: Petrobras; Abeda, 2008.
- BUSS, Ricardo Niehues et al. Infraestrutura logística de transporte e armazenagem da soja no estado do Maranhão-Brasil. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 12, p. 31564-31580, 2019.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES. CNT (2019). **Pesquisa CNT de rodovias 2019**. 236 p. Brasília: CNT: SEST SENAT, 2019
- EMPRESA MARANHENSE DE ADMINISTRAÇÃO PORTUÁRIA – EMAP. **Histórico**, disponível em: [https://www.emap.ma.gov.br/porto-do-itaqui/historico\\_](https://www.emap.ma.gov.br/porto-do-itaqui/historico_) Acesso em: 16 mar. 2022.
- EMPRESA MARANHENSE DE ADMINISTRAÇÃO PORTUÁRIA – EMAP. **Plano de Desenvolvimento e Zoneamento do Porto do Itaqui**, disponível em: [https://www.portodoitaqui.ma.gov.br/porto-do-itaqui/planejamento-portuario\\_](https://www.portodoitaqui.ma.gov.br/porto-do-itaqui/planejamento-portuario_) Acesso em: 16 mar. 2022.
- GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5.ed. São Paulo: Atlas, 1999.
- IMIRANTE. **Terminal marítimo de Ponta de Madeira é líder em movimentação de cargas no Brasil**. São Luís, 08 fev. 2022. <https://imirante.com/noticias/brasil/2022/02/08/terminal-maritimo-de-ponta-da-madeira-e-lider-em-movimentacao-de-cargas-no-brasil>. Acesso em: 15 jul. 2022.
- MARCONI, M. A; LAKATOS, E. M. **Fundamentos metodologia científica**. 4.ed. São Paulo: Atlas, 2001.
- MARANHÃO. Lei Estadual nº 7.225, de 31 de agosto de 1998. **Cria a Empresa Maranhense de Administração Portuária - EMAP e dá outras providências**. *Diário Oficial*, Maranhão, São Luís, Maranhão, dez 1998. Disponível em: [https://www.emap.ma.gov.br/public/\\_files/arquivos/Lei%20de%20Cria%20c3%a7%20a3o%20da%20EMAP%207.225\\_5b0d97ad8ce2a.pdf](https://www.emap.ma.gov.br/public/_files/arquivos/Lei%20de%20Cria%20c3%a7%20a3o%20da%20EMAP%207.225_5b0d97ad8ce2a.pdf). Acesso em: 16 mar. 2022.
- PLANO MESTRE DO ITAQUI. Ministério Dos Transportes, Portos E Aviação Civil – MTPA. **Plano Mestre do Complexo do Itaqui**. Disponível em: <https://www.portodoitaqui.ma.gov.br/porto-do-itaqui/planejamento-portuario>. Acessado em: 10 mar. 2022.
- PLANO DE DESENVOLVIMENTO E ZONEAMENTO DO PORTO DO ITAQUI - PDZ. **Elaboração do Plano de Desenvolvimento e Zoneamento (PdZ) Do Porto Do Itaqui Em São Luís – Maranhão**. Empresa Maranhense de Administração Portuária, 2021. Disponível em: <https://www.portodoitaqui.com/pdf/pdz-itaqui.pdf>. Acesso em: 16 mar. 2022.
- SÃO LUÍS. Prefeitura Municipal de São Luís. **P8 – Avaliação da Infraestrutura Urbana, Viária e da Mobilidade**. Disponível em: [https://saoluis.ma.gov.br/midias/anexos/2217\\_etapa\\_8\\_plano\\_de\\_mobilidade.pdf](https://saoluis.ma.gov.br/midias/anexos/2217_etapa_8_plano_de_mobilidade.pdf). Acesso em: 03 jul. 2022.
- SILVA, Elielma Cunha da. **Logística integrada: uma ferramenta para o crescimento e desenvolvimento de São Luís; um estudo no transporte de intermodal e multimodal de cargas**. 62f. Monografia (Graduação em Administração). Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2013.
- SOARES FILHO, Glauber Fernando. **Transportes de cargas no Maranhão: estudo sobre uso e eficiência dos modais de transporte de carga**. 63f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2019.

# CAPÍTULO 6

## **INFLUÊNCIA DO GÁS INERTE NA REFORMA DE ETANOL COM VAPOR D'ÁGUA UTILIZANDO CATALISADORES ESTRUTURADOS**

*INFLUENCE OF INERT GAS IN ETHANOL STEAM REFORMING USING  
STRUCTURED CATALYSTS*

**Lucas Akio Kanda  
Aline Domingues Gomes  
Marcos de Souza  
Camila Pereira Giroto**

## Resumo

Dentre as possibilidades de fontes de energia renováveis, pode-se citar o hidrogênio, um combustível que pode ser obtido por meio da reação de reforma do etanol com vapor d'água. Devido à matéria prima ser o etanol, um produto de fácil produção, armazenamento e transporte, o processo se torna interessante dentro da realidade brasileira. O trabalho visa determinar a influência do nitrogênio no processo de produção de hidrogênio a partir da reação de reforma de etanol com vapor d'água com o catalisador CuNi/Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Na peletizado e estruturado. O catalisador em pó foi preparado por impregnação úmida e utilizado para recobrir a cordierita pela técnica de *dip-coating*. As reações sem a presença de nitrogênio como gás de arraste favoreceram a conversão e a produção de H<sub>2</sub>.

**Palavras-chave:** Hidrogênio; Etanol; Gás inerte; Monólito.

## Abstract

Among the possibilities of renewable energy sources, one can mention hydrogen, a fuel that can be obtained from the ethanol steam reforming reaction. Because the raw material is ethanol, a product of easy production, storage and transport, the process becomes interesting within the Brazilian reality. This work aims to determine the nitrogen influence in the hydrogen production process from ethanol steam reforming over pelletized and structured CuNi/Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Na catalyst. The powdered catalyst was prepared by wet impregnation and used to coat cordierite by dip-coating technique. The reactions without the presence of nitrogen as a carrier gas favored the conversion and the production of H<sub>2</sub>.

**Keywords:** Hydrogen; Ethanol; Inert gas; Monolith.

## 1. INTRODUÇÃO

Conforme o tempo avança, a evolução das tecnologias se torna cada vez mais rápida, demandando mais fontes de energia. Atrelado a isso, há o fato de que a disponibilidade de combustíveis fósseis está diminuindo, e simultaneamente ocorre a procura por alternativas para reduzir a emissão de gases poluentes em todo o planeta. Dessa forma, uma opção consiste no desenvolvimento de fontes de energia sustentáveis, como, por exemplo, térmica, solar, eólica, biomassa, fotovoltaica, hídrica, geotérmica, entre outros (Boyle, 2004). Dentre os processos de produção de energia renovável, o etanol pode ser utilizado para a produção de  $H_2$  via reação de reforma com vapor d'água, uma vez que o etanol pode ser obtido por meio da fermentação da cana-de-açúcar, matéria-prima em abundância no Brasil. Outro ponto favorável do uso dessa biomassa é que, todo o dióxido de carbono produzido durante o processo de produção do hidrogênio, é consumido durante o crescimento da matéria-prima. Com todos esses fatores, a reforma do etanol para produção do hidrogênio é uma solução viável e atrativa, tanto em aspectos ambientais, como em econômicos (Lund, 2007; Furtado, 2009; Mazloomi e Gomes, 2012).

A reforma do etanol com vapor d'água é um processo endotérmico e o caminho reacional mais aceito para a produção de  $H_2$  é:

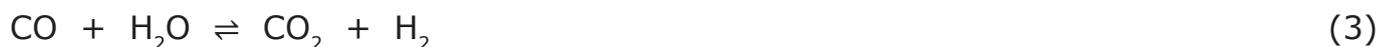
- Desidrogenação do etanol produzindo acetaldeído:



- Reforma do acetaldeído com vapor d'água:



- Reação de deslocamento gás-água:



Desse modo, a Equação (4) nos indica o resultado para a reforma do etanol com vapor d'água. Porém, podem ser formados outros subprodutos e intermediários dependendo do suporte e fase ativa do catalisador, temperatura de reação, vazões de reagentes, entre outras condições operacionais.

Via de regra, a reação de reforma do etanol é realizada com catalisadores compostos por suporte, fase ativa e dopantes. O reagente utilizado e a composição do catalisador desempenham um papel fundamental na sua atividade e também na sua desativação (Sharma *et al.*, 2017). Os suportes que vêm sendo estudados são  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ ,  $CeO_2$  e  $Nb_2O_5$ , sendo esse último, selecionado para essa pesquisa.

Estudos apontam que catalisadores eficientes em relação à seletividade, contém me-

tais nobres (Rh, Ru, Pt e Pd) como fase ativa e por isso apresentam alto custo. Contudo, catalisadores mais baratos são estudados, destacando aqueles que possuem Ni, devido a eficiência na quebra de ligações C-C, e Cu, pela grande estabilidade (Sinderski *et al.*, 2019). Catalisadores estruturados também têm sido estudados por apresentarem uma melhor estabilidade estrutural e térmica, além de diminuir a queda de pressão e evitar o entupimento do reator (Cybulski e Moulijn, 2006; Gomes *et al.*, 2019).

Portanto, o intuito do trabalho é verificar a influência do gás inerte no catalisador CuNi/Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Na na reação de reforma do etanol com vapor d'água, sendo os componentes para a fase ativa o Cu e Ni, utilizando o Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> como suporte. Todos esses componentes são objetos de estudo do grupo de catálise do DEQ/UEM.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Preparo dos catalisadores

A síntese do catalisador CuNi/Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Na foi efetuada por impregnação úmida baseado no trabalho de Dancini-Pontes *et al.* (2015) com 1% de Cu, 5% de Ni e 0,1% de Na<sub>2</sub>O. Os nitratos de níquel (Ni(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O), cobre (Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>.3H<sub>2</sub>O) e sódio (NaNO<sub>3</sub>) foram dissolvidos em béqueres separados, e posteriormente misturados. Despejou-se a solução sobre o suporte Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> em balão volumétrico, viabilizando a impregnação simultânea dos nitratos ao suporte.

Em seguida, acoplou-se o balão em um sistema evaporador rotatório até que a mistura perdesse o excesso de água, sendo em seguida seca na estufa por 24 h. Posteriormente, o material foi levado à mufla e calcinado a 500°C. Com parte do catalisador em pó foram feitas pastilhas em prensa hidráulica, que foram maceradas e peneiradas com granulometria entre 0,85 mm e 0,35 mm e o restante do catalisador foi macerado, peneirado, obtendo-se o catalisador peletizado. O pó com granulometria menor que 0,046 mm foi utilizado no processo de recobrimento da cordierita, por meio da técnica *dip-coating*, baseado no método de Balzarotti *et al.* (2016). O substrato cerâmico (cordierita), foi adquirido da empresa Beihai Xiaoming International Import and Export Trading Co., Ltd com a marca DXY, e possui 400 células por polegada quadrada (cpsi - cells per square inch). A *slurry*, suspensão contendo o catalisador, foi preparada com razão de glicerina/catalisador de 1,3, razão de água/catalisador igual 2 e 1,5% de álcool polivinílico em relação a mistura de água-glicerina como modificador da viscosidade. A imersão da cordierita na *slurry* foi feita a uma taxa de 6 cm/min permanecendo nela por 1 minuto. Após cada imersão o excesso da *slurry* foi removido com sopro de ar e as amostras foram secas em estufa a 250°C por 1 h. Esse processo foi repetido até atingir entre 15% a 20% em massa de catalisador. Por fim, o monólito resultante foi calcinado a 500°C para melhorar a aderência do catalisador à cordierita.

## 2.2 Testes catalíticos

O módulo utilizado, apresentado na Figura 1, funciona da seguinte maneira: o reservatório armazena a mistura reagente que é transportada até a entrada do sistema utilizando-se uma bomba peristáltica (4). Após, o meio reacional em fase líquida segue para o pré-aquecedor (5) e evaporador (6) para serem vaporizados a 200°C. A mistura de reagente vaporizada chega ao reator (8), onde ocorre a reação. A mistura de produtos e reagentes que não reagiram é resfriada no condensador (9) com água a 7°C em fluxo contracorrente e segue para o coletor/separador de fases (10) no qual ocorre a separação das fases líquida e vapor, permitindo a quantificação da vazão de cada fase e coleta para posterior análise cromatográfica.

O produto gasoso foi coletado em ampola gasométrica e analisado em cromatógrafo a gás Trace GC da Thermo Finnigan equipado com um detector de condutividade térmica (DCT) e duas colunas cromatográficas ligadas em série, Peneira Molecular 13X e Porapak N. O produto líquido foi analisado por cromatógrafo a gás Varian 3300, equipado com detector de condutividade térmica, com a coluna capilar 10 % Carbowax 20M em CHR W HP.

Antes dos testes catalíticos, os catalisadores são ativados *in situ* sob fluxo de mistura redutora  $N_2-H_2$  (40% vol.  $H_2$ ) a uma vazão de 85  $cm^3/min$  a 500°C por 4 h. Após a etapa, o fluxo de hidrogênio é interrompido mantendo-se o fluxo de nitrogênio para limpeza da linha.

Quando se inicia a alimentação de reagentes, imediatamente interrompe-se a vazão de nitrogênio, para os testes sem gás inerte, ou ajusta-se a vazão desejada de nitrogênio para os testes utilizando gás de arraste, e aciona-se a contagem de tempo, medindo-se as vazões de produto gasoso e de produto líquido em intervalos regulares.

Os testes catalíticos foram realizados com razão molar  $H_2O/C_2H_5OH$  igual a 10/1 e, quando utilizado gás de arraste, este foi mantido na razão molar  $N_2/C_2H_5OH$  igual a 1/1. A nomenclatura utilizada para o catalisador peletizado foi P-CNN e para o catalisador monolítico M-CNN.

## 2.3 Caracterização dos catalisadores

As análises de difração de raios X dos suportes e dos catalisadores foram realizadas utilizando um difratômetro Bruker D8 Advance do Laboratório de Adsorção e Troca Iônica – DEQ/UEM. Utilizou-se uma fonte de radiação de emissão de cobre ( $CuK\alpha$ , 40 kV e 30 mA) e varredura de  $2\theta$  variando entre 10° e 80° a 2°/min. Os difratogramas foram interpretados utilizando o banco de dados do software JCPD embutidos no software X'Pert HighScore da Philips.

As análises de microscopia foram realizadas em microscópio eletrônico de varredura modelo Quanta 250. As amostras foram metalizadas com ouro. O equipamento está situado no Complexo de Centrais de Apoio à Pesquisa (COMCAP) da UEM.

Para a realização da análise de espectrometria de absorção atômica pesou-se 200 mg de amostra em pó em um recipiente de teflon, adicionou-se 0,5 mL de água régia ( $\text{HNO}_3:\text{HCl}$  a 1:3) e 3 mL de ácido fluorídrico à amostra e, em seguida, o recipiente foi aquecido em chapa de aquecimento até o volume do líquido diminuir significativamente. Após resfriado adicionou-se 10 mL de água deionizada, 5 mL de  $\text{H}_3\text{BO}_3$  a 4% e 1 mL de HCl concentrado e essa solução foi aquecida na chapa de aquecimento até tornar-se límpida. Após o resfriamento, a solução foi transferida para um balão volumétrico de 100 mL e o volume foi completado com água deionizada. Após esse procedimento as amostras foram submetidas à análise de espectrometria de absorção atômica para os metais Cu e Ni no espectrômetro de absorção atômica da marca Varian, modelo 50B.

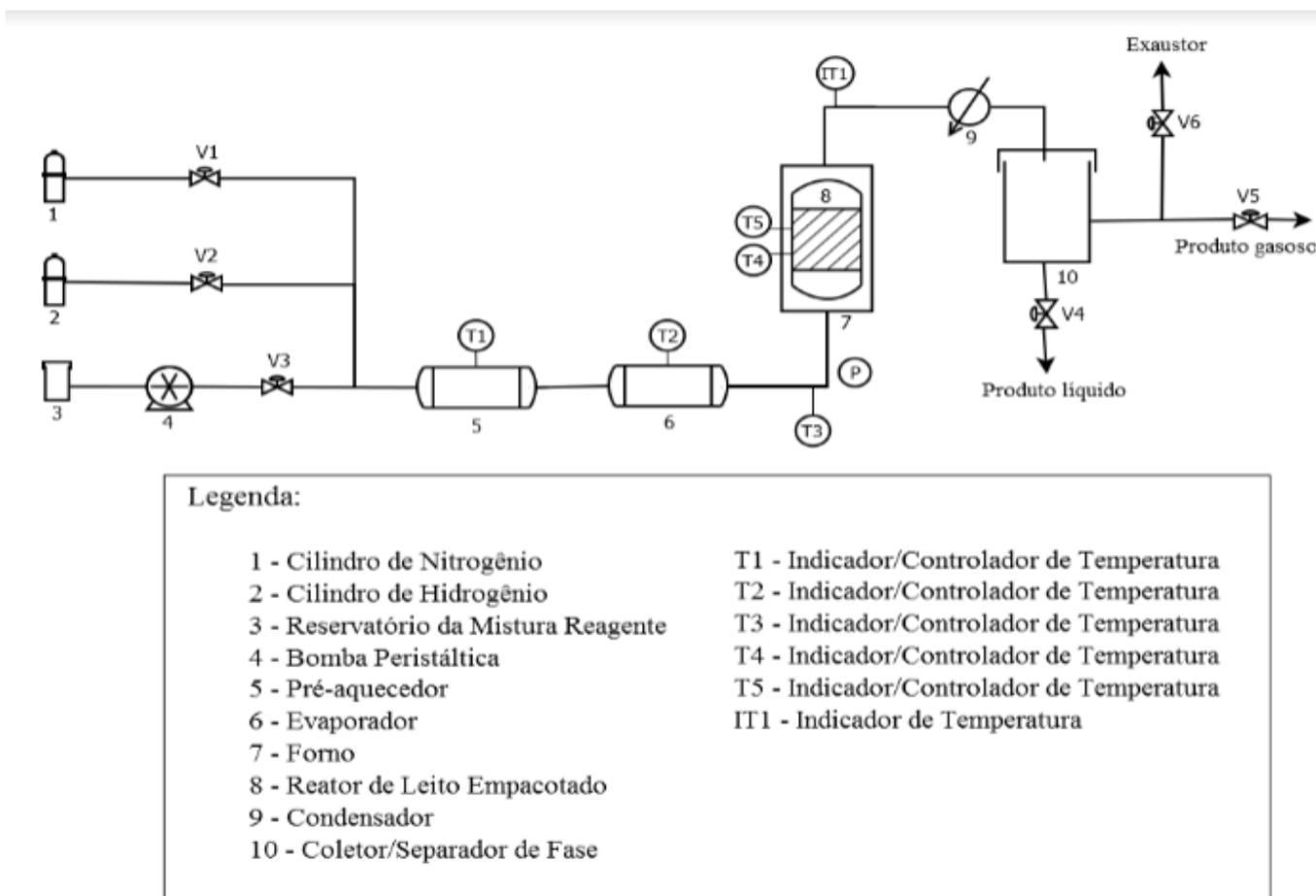


Figura 1 – Módulo de reforma do etanol com vapor d'água  
 Fonte: Autoria própria

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Caracterização dos catalisadores

Na Figura 2 são apresentados os difratogramas de raios X das amostras. Comparando os difratogramas das amostras de  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  (PDF #03-0514) e de  $\text{CuNi/Nb}_2\text{O}_5\text{-Na}$  observa-se o surgimento de um pico em  $43,5^\circ$  referente ao NiO (PDF #73-1523) no difratograma do catalisador, como observado no trabalho de Dancini-Pontes *et al.* (2015). Como a quantidade de cobre é pequena, não foi possível observar picos referentes a ele. Observa-se uma diminuição da intensidade dos picos no difratograma do monólito compa-

rado ao da cordierita (PDF#82-1542) e o surgimento ou aumento da intensidade de picos referentes ao pentóxido de nióbio.

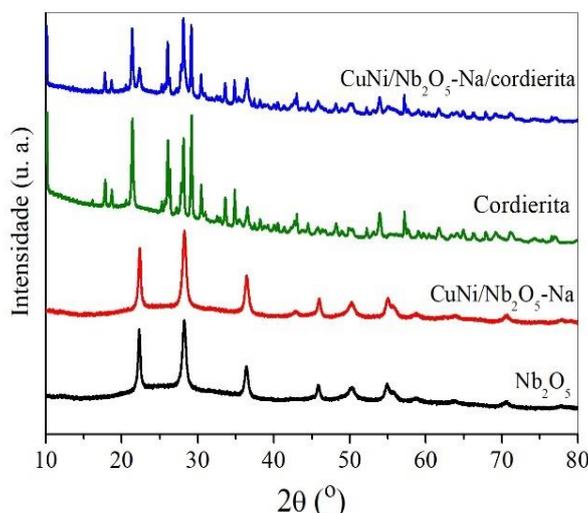


Figura 2 - Difração de raios X dos suportes e dos catalisadores

Na Tabela 1 são apresentados os dados de espectroscopia de absorção atômica dos catalisadores. Observa-se que a concentração de Cu e Ni no monólito diminui, sugerindo que parte do Cu e Ni se desprendem do catalisador na *slurry* no processo de *dip-coating*.

Catalisadores	Teor (%)	
	Cu	Ni
<b>P-CNN</b>	0,91	5,13
<b>M-CNN</b>	0,78	4,59

Tabela 1 - Dados da espectroscopia de absorção atômica

As imagens (a) e (b) na Figura 3 apresentam a microscopia eletrônica de varredura do catalisador CuNi/Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Na em pó e da parede interna de um dos canais do monólito, respectivamente. Ao comparar as duas imagens pode-se verificar que após o *dip-coating* a aparência das partículas do catalisador aderido à cordierita não sofre alteração. As imagens (c) e (d) da Figura 3 apresentam as micrografias do topo da cordierita e do topo do monólito e verifica-se que a forma dos canais do monólito passa a ficar arredondada nos cantos após o monólito de cordierita ser revestido com o catalisador, devido ao acúmulo nos cantos dos canais, fato observado nos trabalhos de Sanz *et al.* (2013) e Gomes *et al.* (2019).

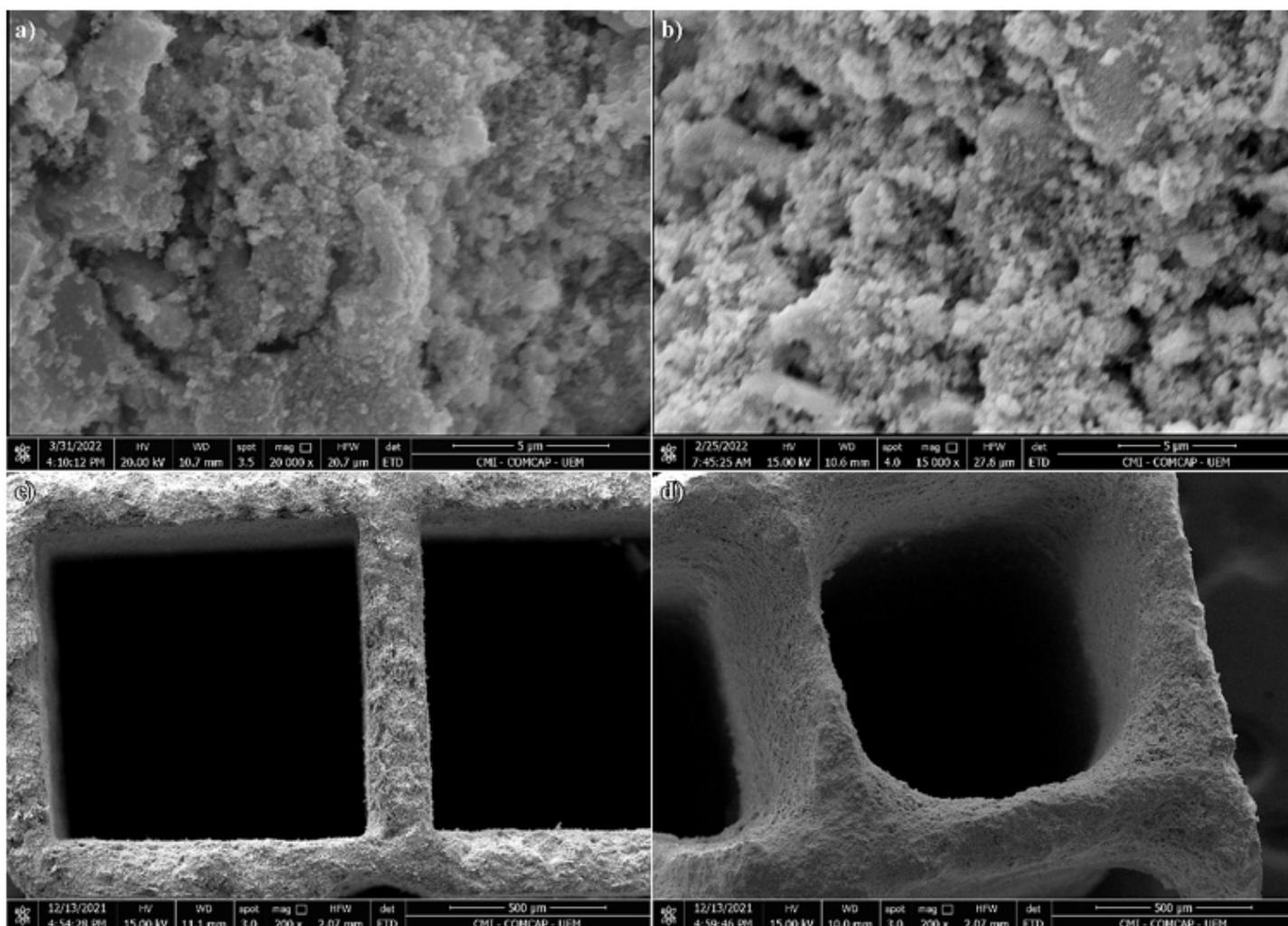


Figura 3 - Micrografias do (a) catalisador em pó, (b) da parede interna dos canais do monólito, (c) topo da cordierita e (d) topo do monólito.

### 3.2 Testes catalíticos

As condições adotadas nos testes catalíticos estão organizadas na Tabela 2. Dessa forma, os resultados obtidos a partir dos cromatogramas foram organizados graficamente (Figura 4) por meio do software Excel, de modo a demonstrar a conversão e a distribuição de produtos de cada experimento. Para se ter um panorama final do desempenho reacional em relação à inserção (ou não) no gás inerte, na Tabela 3, encontram-se todos os dados de seletividade e conversão para cada experimento.

Catalisadores	WHSV ( $\text{dm}^3/\text{h.g}_{\text{cat}}$ )
P-CNN	50
M-CNN	50
P-CNN	54,55 (com $\text{N}_2$ )
M-CNN	54,55 (com $\text{N}_2$ )

Tabela 2 - Condições de operação dos testes catalíticos

Quando comparados os resultados obtidos entre os catalisadores pelletizados presentes na Figura 4 (a) e (b), ocorreu uma diminuição na conversão, dado que o gás inerte ( $\text{N}_2$ ) diminuiu o tempo em que os reagentes permanecem dentro do reator. Dessa forma,

a quantidade de  $H_2$  produzida diminui. E por consequência, pela reação de deslocamento gás-água (Eq. 3), essa diminuição do hidrogênio produzido, gera, pelo princípio de Le Chatelier, um desequilíbrio para o lado dos produtos, justificando o aumento de  $CO_2$  no segundo experimento.

O aumento de acetaldeído no gráfico (Figura 4-b) também pode ser explicado pela presença do nitrogênio. Dado que, quando se analisa o caminho da Equação (4), é necessário que seja formado acetaldeído pela desidrogenação do etanol (Eq. 1). Porém, como os reagentes ficaram menos tempo no reator, na presença do inerte, a reforma do etanol não pôde ser concluída.

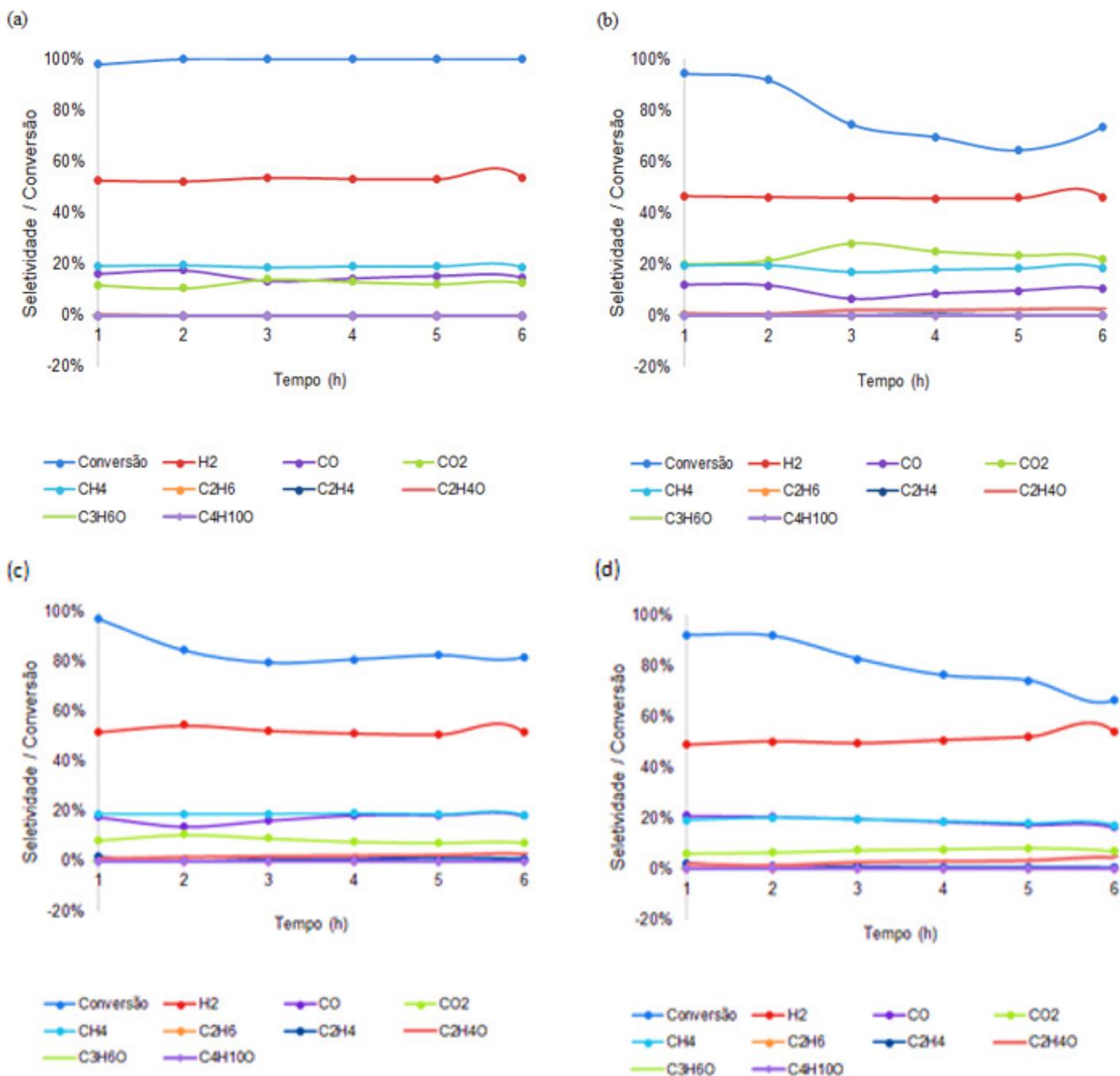


Figura 4 - Distribuição de produtos ao longo do tempo para os catalisadores (a)P-CNN, (b)P-CNN utilizando gás de arraste, (c)M-CNN, (d)M-CNN utilizando gás de arraste.

Experimento	Conversão	H <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O
P-CNN	99,65	53,18	15,29	12,37	19,15	-	0,01
P-CNN (com N <sub>2</sub> )	78,12	46,09	9,87	23,30	18,58	0,26	1,74
M-CNN	84,43	52,19	17,14	8,49	18,93	1,06	2,08
M-CNN (com N <sub>2</sub> )	80,60	50,81	18,97	7,21	18,86	1,09	3,01

Tabela 3 - Compilação de resultados obtidos em todos os testes catalíticos. As conversões e seletividades foram preenchidas em termos percentuais (%).

Observando-se os gráficos da Figura 4 (c) e (d), é possível observar que não há significativa alteração entre a seletividade e a conversão dentre os experimentos, mostrando então que a presença do gás inerte praticamente não tem influência sobre esses testes quando há utilização de monólito.

Um ponto que vale ressaltar é que a quantidade de produtos secundários produzidos com os monólitos foi maior se compararmos com os testes com os pelletizados. Isso provavelmente ocorre devido ao fato da quantidade de Cu e Ni no monólito ter diminuído, como pôde ser observado na análise de absorção atômica, influenciando negativamente na reação.

## 4. CONCLUSÃO

O uso de gás inerte na reação de reforma do etanol com vapor d'água não apresentou resultados satisfatórios, uma vez que a seletividade ao H<sub>2</sub> e a taxa de conversão diminuíram quando comparados aos experimentos em condições semelhantes sem a presença do inerte. Ademais, foi possível verificar que o processo de *dip-coating* causa pequena redução na quantidade de Cu e Ni, afetando negativamente a reação de reforma.

Portanto, a utilização do gás inerte na reação de reforma do etanol com vapor d'água não é uma alternativa interessante para o intuito do projeto, dado que seu uso desfavorece a produção do H<sub>2</sub>.

## Referências

- ALONSO, C. G. *et al.* Reactions over Cu/Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> catalysts promoted with Pd and Ru during hydrogen production from ethanol. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 34, n. 8, p. 3333–3341, 2009.
- BOYLE, G. Renewable Energy. **Oxford University Press**, mai, 2004. Disponível em: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2004reen.book.....B/abstract>. Acesso em: 24 ago. 2021.
- CYBULSKI, A.; MOULIJN, J. **A. Structured Catalysts and Reactors**. 2ª. ed. Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2006.
- DANCINI-PONTES, I. *et al.* Influence of the CeO<sub>2</sub> and Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> supports and the inert gas in ethanol steam reforming for H<sub>2</sub> production. **Chemical Engineering Journal**, v. 273, p. 66-74, 2015.
- FURTADO, A. C. *et al.* Support influence on Ni-Cu catalysts behavior under ethanol oxidative reforming reaction. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 36, p. 9653–9662, 2011a.
- FURTADO, A. C. *et al.* Support influence on Ni–Cu catalysts behavior under ethanol oxidative reforming re-

action. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 36, n. 16, p. 9653–9662, 2011b.

FURTADO, A. C., ALONSO, C. G., CANTÃO, M. P., FERNANDES-MACHADO, N. R. C. Bimetallic catalysts performance during ethanol steam reforming: Influence of support materials, **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 34, p. 7189-7196, 2009.

GOMES, A. D.; SOUZA, M.; FARIA, S. H. B. Estudo da reação de reforma do etanol com vapor d'água com catalisador CuNi/CeO<sub>2</sub> pelletizado e revestido em monólito cerâmico. In: Congresso Brasileiro de Catálise, 20, 2019, São Paulo. **Anais 20º CBCat: Expandindo as fronteiras da catálise**. Disponível em: <https://sbcat.org/index.php/pt/eventos/anais-do-congresso>. Acesso em: 04 fev. 2022.

GÓMES-CORTÉS, A. *et al.* Selective CO oxidation in excess of H<sub>2</sub> over high-surface area CuO/CeO<sub>2</sub> catalysts. **Catalysis Today**, v. 133–135, p. 743–749, 2008.

LUND, H. Renewable energy strategies for sustainable development. **Energy**, v. 32, n. 6, p. 912-919, 2007.

MATTOS, L. V. *et al.* Production of hydrogen from ethanol: Review of reaction mechanism and catalyst deactivation. **Chemical Reviews**, v. 112, p. 4094–4123, 2012.

MAZLOOMI, K.; GOMES, C. Hydrogen as an energy carrier: Prospects and challenges. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 5, p. 3024-3033, 2012.

NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY (NIST). **Pesquisa para dados de espécies através da fórmula química**. Disponível em: <http://webbook.nist.gov/chemistry/form-ser.html>. Acesso em: 23 ago. 2021.

SHARMA, Y. C. *et al.* Ethanol steam reforming for hydrogen production: Latest and effective catalyst modification strategies to minimize carbonaceous deactivation. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 74, n. November 2016, p. 89–103, 2017.

SANZ, O.; ECHAVE, F. J.; ROMERO-SARRIA, F.; ODRIOZOLA, J. A.; MONTES, M. Advances in Structured and Microstructured Catalytic Reactors for Hydrogen Production. **Renewable Hydrogen Technologies**. Elsevier. p.201–224, 2013.

SINDERSKI, L. G. Z., *et al.* Reforma do etanol com vapor d'água sobre catalisador estruturado metálico revestido com Cu-Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. **Congresso Brasileiro de Catálise**, p. 1, set. 2019. Disponível em: <http://sis-conev.com.br/uploads/CBCat2019/20190429111634000001782.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2021.

# CAPÍTULO 7

## **UTILIZANDO A INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL EM AMOSTRAS DE SOLOS PARA DEFINIÇÃO DE ENSAIOS GEOTÉCNICOS EM LABORATÓRIO**

*USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN SOIL SAMPLES TO DEFINE  
APPROPRIATE GEOTECHNICAL LABORATORY TESTS*

**Gustavo Vaz de Mello Guimarães**

**Lucas Marques Pires da Silva**

**Leticia Mendonça Cardoso**

**Isabelle Cristina Antunes Thomaz**

**Hugo Santos de Assis**

**Gabriela Gomes Gonçalves**

**Felippo Bammaro Pinheiro**

## Resumo

O trabalho utiliza a inteligência artificial para auxiliar a escolha prévia de quais ensaios de caracterização geotécnica em laboratório são ideais para serem aplicados a uma certa amostra de solo. Por intermédio de fotos retiradas no local de coleta da amostra e da utilização da inteligência artificial é possível verificar se aquela amostra é uma areia, silte ou argila. Portanto, utilizando essa ferramenta é possível saber, de antemão, quais os ensaios geotécnicos necessários em laboratório para cada tipo de amostra. Naturalmente, existem diferenças de prazo e custo, a depender dos ensaios a serem realizados (e.g.: areia: ensaios mais simples, mais baratos e mais rápidos; siltes/argilas: ensaios mais complexos, mais caros e mais demorados). Desta forma, a inteligência artificial pode auxiliar, por exemplo, em uma melhor acurácia para fazer orçamentos preliminares de investigações geotécnicas para diversos tipos de obras.

**Palavras-chave:** Engenharia Civil, Inteligência Artificial, Ensaio de Caracterização Geotécnica.

## Abstract

The research apply artificial intelligence to assist the choice of the best geotechnical characterization tests in the laboratory to a certain soil sample. Through photos taken at the sample collection site and the use of artificial intelligence, it is possible to verify whether that sample is sand, silt or clay. Therefore, using the artificial intelligence it is possible to know, in advance, which geotechnical tests are appropriate in the laboratory for each type of sample. It is important to note that exists differences in terms of time and cost, depending on the tests to be performed (e.g.: sand: simpler, cheaper and faster tests; silt/clay: more complex, more expensive and longer tests). In this way, artificial intelligence can help, for example, in a better accuracy to make preliminary budgets of geotechnical investigations for different types of works.

**Keywords:** Civil Engineering, Artificial Intelligence, Geotechnical Laboratory Tests.

## 1. INTRODUÇÃO

Pode-se dizer que toda obra de engenharia civil, em alguma fase, irá necessitar de algum estudo de solo. Em alguns casos esse estudo é mais sofisticado e em outros menos. Nesse contexto, quando o grau de sofisticação do empreendimento é tal que uma campanha de investigação geotécnica é planejada, quase sempre (ou sempre) são solicitadas caracterizações completas de solos em laboratório.

A caracterização completa de um solo em laboratório é uma das etapas mais básicas para iniciar uma investigação geotécnica adequada. Normalmente, esta caracterização é composta por uma série de ensaios, dentre os quais podem-se destacar: umidade, composição granulométrica, limites de *Atterberg* e massa específica real dos grãos. Naturalmente, alguns desses ensaios dependem das características principais do solo analisado, ou seja, em areias alguns desses procedimentos são aplicáveis enquanto os siltes e argilas necessitam outros processos.

O aprendizado de máquina se tornou uma das tecnologias mais interessantes da atualidade. Grandes empresas, como *Google*, *Facebook*, *Apple*, *Amazon* e *IBM*, investem pesadamente em pesquisas e aplicativos de aprendizado de máquina. Embora possa parecer que o aprendizado de máquina se tornou corriqueiro, certamente, não é um tema de pesquisa passageiro. Este campo estimulante abre caminho para novas possibilidades e se tornou indispensável no dia a dia das empresas.

O século XXI é uma época em que os dados vêm em abundância; usando algoritmos de autoaprendizagem da área de aprendizado de máquina, pode-se transformar esses dados em conhecimento. Graças às muitas bibliotecas de código aberto, que foram criadas nos últimos anos, algoritmos eficientes foram desenvolvidos para detectar padrões nos dados e fazer previsões sobre eventos futuros.

Na segunda metade do século XX, o aprendizado de máquina evoluiu como um sub-campo da Inteligência Artificial (IA) que envolvia algoritmos de autoaprendizagem que derivavam conhecimento de dados para fazer previsões, em vez de exigir que os humanos derivem regras e construam modelos manualmente a partir da análise de grandes quantidades de dados. De acordo com ANGRA E AHUJA (2017), o aprendizado de máquina oferece uma alternativa mais eficiente para capturar o conhecimento em dados para melhorar gradualmente o desempenho de modelos preditivos e tomar decisões baseadas em dados.

O aprendizado de máquina não apenas está se tornando cada vez mais importante na pesquisa em ciência da computação, mas também desempenha um papel cada vez maior no cotidiano. Graças ao aprendizado de máquina, desfruta-se de filtros robustos de *spam* de *e-mail*, *software* conveniente de reconhecimento de texto e voz, mecanismos de pesquisa na *web* confiáveis, programas desafiadores para jogar xadrez e carros autônomos seguros e eficientes, dentre outros.

Nesta pesquisa, o *Teachable Machine* foi utilizado para definir a composição granulométrica do solo, a fim de direcionar a realização de determinados ensaios de laboratório para auxiliar na caracterização completa dos solos.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1 Programa Utilizado

O *software Teachable Machine* foi escolhido para ser utilizado nesta pesquisa devido a fácil interface com o usuário e por ser um programa gratuito. Este software é um programa de classificação, a partir de classes pré-definidas, com uso do *Tensorflow* como biblioteca base. O endereço eletrônico para acessar esse programa é <https://teachable-machine.withgoogle.com/>. Ao clicar em *Get Started* aparecem as três opções de projetos que podem ser analisados por esta ferramenta: imagens, áudios e poses. Ressalta-se que esse mesmo programa já foi utilizado em outras pesquisas bem recentes, tal qual Tavares et. al (2022).

O programa realiza um ajuste de uma equação matricial, onde cada imagem analisada é transformada em uma matriz. Cabe destacar, que as imagens são analisadas *pixel a pixel* e, quando é realizado o *upload* de uma imagem no programa, ela é automaticamente transformada em uma imagem quadrada. Assim, esta imagem é comparada, pela I.A., a uma matriz quadrada, onde cada pixel da imagem representa um termo da matriz.

A figura 1a mostra a página inicial do *Teachable Machine* e a figura 1b apresenta a página seguinte com as opções de projeto: *image project*, *audio project* e *pose project*. Neste projeto foi utilizada a opção *image project*.

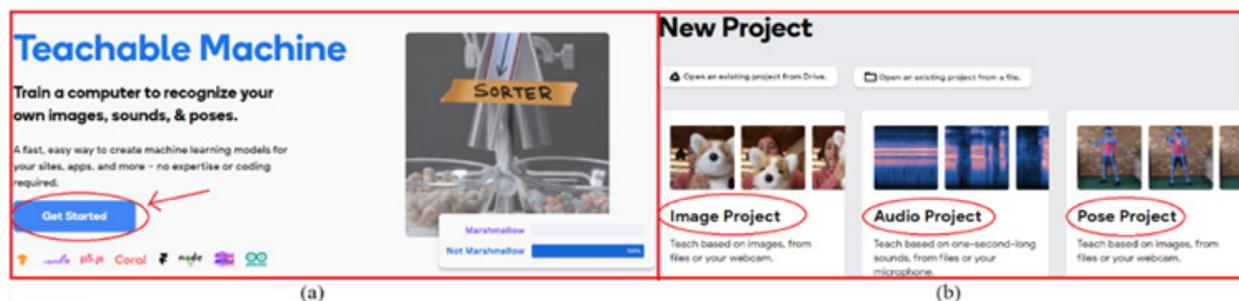


Figura 1 – (a) Página inicial do site de acesso; (b) Possíveis opções de projetos do *software Teachable Machine*

Fonte: adaptado de <https://teachablemachine.withgoogle.com/>, acessado em 07/11/2021

## 2.2 Banco de Dados

### 2.2.1 Generalidades

Para melhor O banco de dados deste trabalho foi constituído por 333 imagens. Basicamente foram utilizadas areias e argilas como bases de dados na presente pesquisa. Vale destacar que muitas vezes as areias e argilas originais foram misturadas em laboratório, formando os solos chamados de intermediários. Com efeito, as 333 imagens correspondem a 96 tipos de solos diferentes.

## 2.2.2 Equipamentos e materiais

Para a confecção do banco de dados foi necessária a utilização de diversos equipamentos e materiais, sendo estes: sacos plásticos, balanças com capacidade 500 g e resolução de 0,001 g, luvas, almofariz (500 ml), instrumentos cirúrgicos (acessórios utilizados em consultórios médicos/dentistas), peneiras #200, espátulas, capsulas metálicas, estufa, bandejas, Becker (50 ml), picnômetro (500 ml), água destilada, recipiente com dimensões padronizadas de cor branca e tampa transparente e quatro câmeras fotográficas associadas a diferentes aparelhos de celular. A figura 2a apresenta os materiais gerais utilizados, tais como: peneira, amostra de solo, capsula metálica, escova, mão de gral, picnômetro e recipiente. O recipiente, especialmente selecionado para utilização nesta pesquisa, possuía 13 cm de comprimento, 8,5 cm largura e 10 cm de altura. A tampa transparente foi adaptada com um furo central de dimensões de 3 cm x 2 cm. A figura 2b apresenta um detalhe deste recipiente.

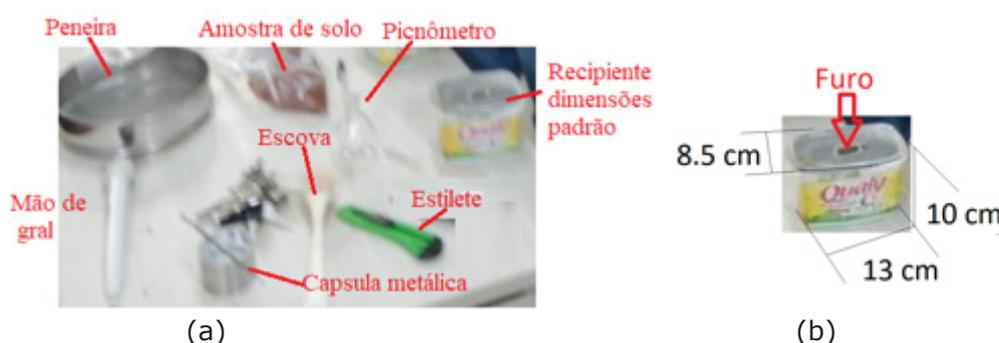


Figura 2 – (a) Materiais gerais utilizados; (b) Recipiente com dimensões padrão

A figura 3 mostra os quatro aparelhos de celulares utilizados para obtenção das fotos da pesquisa.

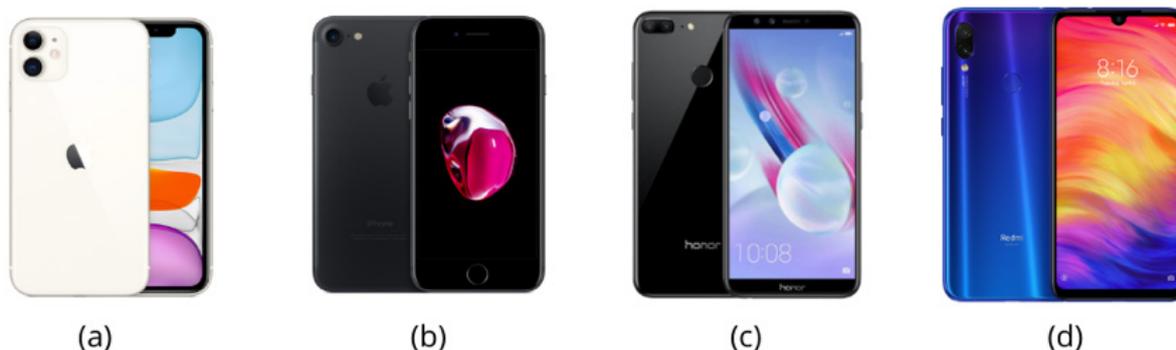


Figura 3 – Aparelhos celulares utilizados. (a) *iPhone 11*; (b) *iPhone 7*; (c) *Honor 9 Lite*; (d) *Redmi Note 7*  
 Fonte: Google Imagens, acessado em 08/03/2022

A tabela 1 apresenta as resoluções das quatro câmeras fotográficas utilizadas, assim como o modelo e a marca dos respectivos aparelhos de celular.

Referência	Marca	Modelo	Resolução da câmera (MP)
a	Apple	iPhone 11	12
b	Apple	iPhone 7	12
c	Huawei	Honor 9 Lite	13
d	Xiaomi	Redmi Note 7	48

Tabela 1 – Características dos aparelhos celulares utilizados.

Basicamente os materiais utilizados na pesquisa foram areias e argilas de diferentes naturezas e localidades. Sobre as areias cabe destacar que foram sete tipos de areias puras de diferentes locais e formações geológicas. A tabela 2 apresenta as principais características das areias utilizadas.

Referência	Origem	Local
1	Sedimentar	Praia do Pecado, Macaé/Brasil
2	Sedimentar	Praia do Açú, São Joao da Barra/Brasil
3	Sedimentar	Praia do Farol de São Tomé, Campos dos Goytacazes/Brasil
4	Sedimentar	Açú 1, São Joao da Barra/Brasil
5	Vulcânica	Praia do Roquete, Tenerife/Espanha
6	Vulcânica	Praia do Arenal, Tenerife/Espanha
7	Sedimentar	Açú 2, São Joao da Barra/Brasil

Tabela 2 - Origem e localização das sete areias utilizadas.

A figura 4 apresenta uma imagem de todas as areias utilizadas na pesquisa. Observa-se também um detalhe obtido por meio de microscopia digital de cada uma das amostras arenosas.

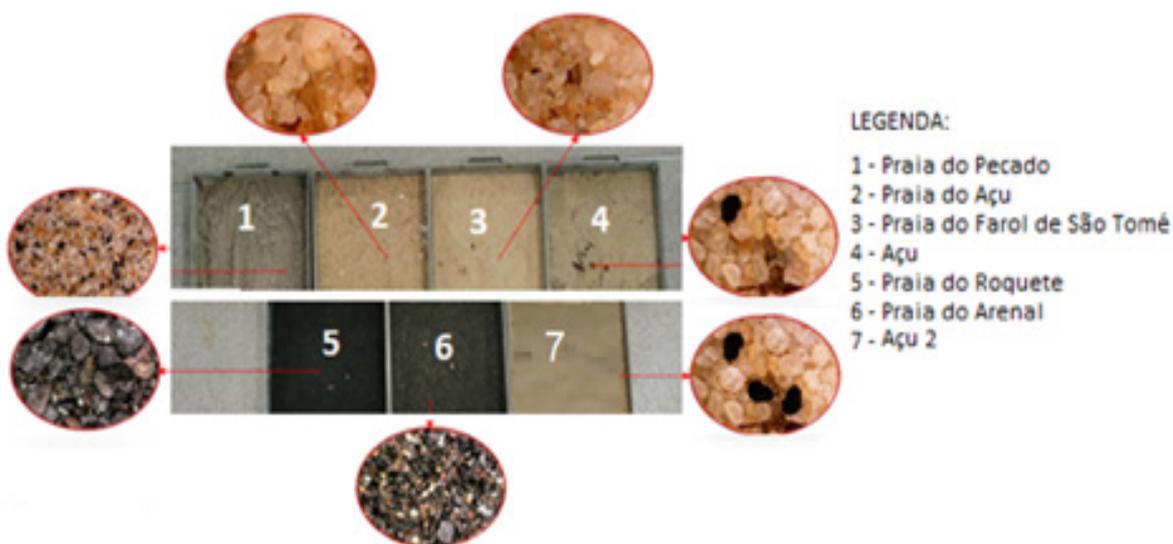


Figura 4 - Imagens das sete areias utilizadas na pesquisa

Já no que tange às argilas, o trabalho foi realizado a partir de cinco diferentes tipos. Quatro dessas argilas foram compradas em lojas que comercializam este tipo de material. E uma delas foi coletada na natureza. A tabela 3 apresenta um resumo das principais características das argilas utilizadas

Referência	Origem	Composição	Coloração
a	Natural do Açú	Matéria Orgânica	Preta
b	Compradas	Montmorilonita	Verde
c	Compradas	Dolomita, sílica, quartzo, carbonato, óxidos de alumínio e óxidos de ferro	Rosa
d	Compradas	Alumínio (óxido de alumínio), sílica (óxido de silício)	Preta
e	Compradas	Dolomita	Branca

Tabela 3 - Origem, composição e coloração das argilas utilizadas.

A figura 5 apresenta uma pequena porção de cada uma das argilas utilizadas na presente pesquisa.

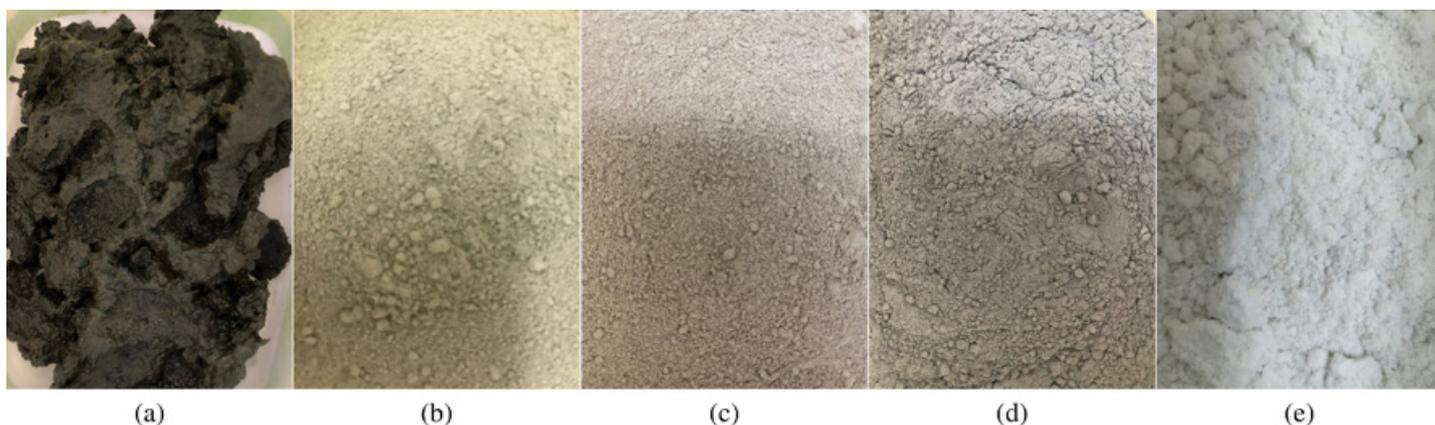


Figura 5 – (a) Argila “natural” do Açú; (b) Argila verde; (c) Argila Rosa; (d) Argila Preta; (e) Argila Branca

### 2.2.3 Confeção do banco de dados

É importante observar que, sempre que possível, deve-se preferir um banco de dados mais balanceado possível, pois dessa forma as análises provenientes terão melhor desempenho.

A confeção do banco de dados seguiu uma série de procedimentos que variou de acordo com os tipos de solo: Solos Naturais; Argilas Comerciais; Solos Fabricados. Cabe lembrar que no total foram 96 tipos diferentes de solos.

a) Solos naturais: Todos os solos naturais foram utilizados com secagem previa em estufa e sem adição posterior de água. No total foram sete areias e uma argila. Assim, os procedimentos descritos a seguir foram realizados:

1º. Secagem na estufa;

2º. Separou-se os solos entre areias e argilas;

3º. Utilizando a balança de precisão, tarou-se o recipiente padrão e então, pesou-se 100g de cada solo;

4º. Fotografou-se, com ao menos duas câmeras de diferentes celulares<sup>1</sup>, cada solo dentro do recipiente padrão;

5º. Especificamente para o caso da argila, a fim de se determinar o percentual de finos, transferiu-se a mesma para a peneira #200, lavando-a com água corrente. A lavagem foi realizada até que a água que passava pela peneira estivesse translúcida, ou seja, todo solo com “diâmetro” menor que 0,075 mm, em teoria, já havia passado pela peneira #200;

6º. Após a secagem prévia ao ar, transferiu-se o material retido na peneira #200 para as capsulas, previamente pesadas, levando-os à estufa, onde foram secos até constância de peso. Assim, foi possível determinar o percentual de finos;

<sup>1</sup> Não foi seguido nenhum padrão de escolha, dentro das câmeras disponíveis, para retirar as fotografias.

7º. Armazenaram-se as fotografias, separando-as em suas devidas pastas.

A figura 6 mostra as pastas que armazenam as fotos dos solos naturais de acordo com a localização da coleta do solo. Além disso, apresentam-se um detalhe das fotografias das areias de "Açu 1" e da "Praia do Pecado". Destaca-se que nestes casos apresentados, foram utilizadas todas as quatro câmeras disponíveis.

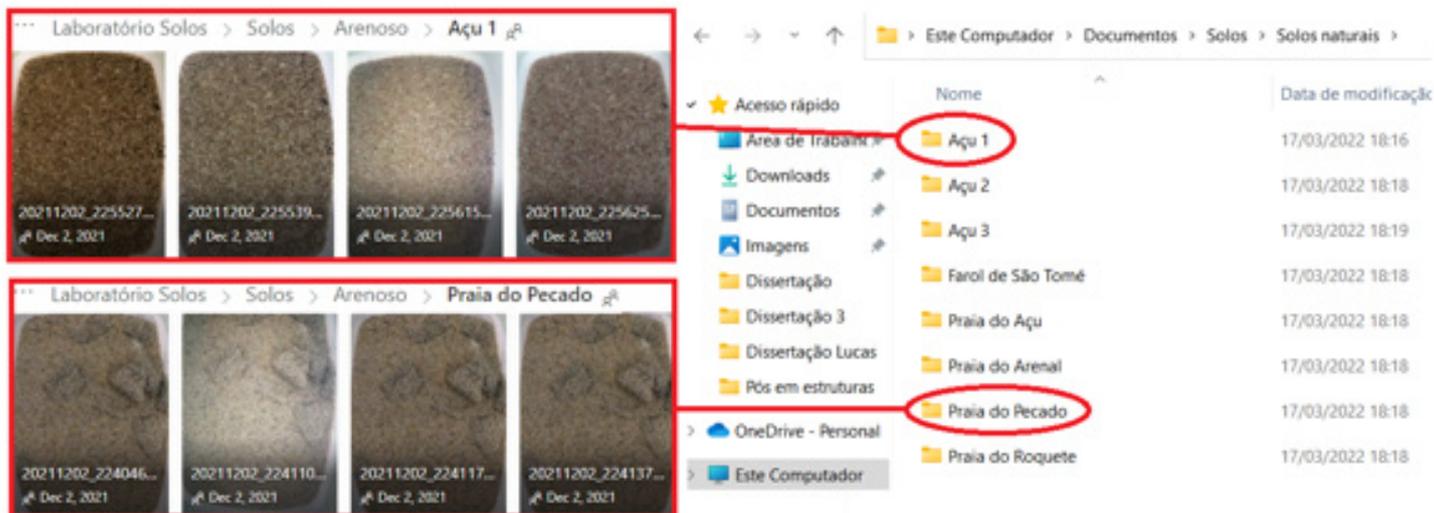


Figura 6 – Armazenamento dos solos naturais já devidamente catalogados, além do detalhe de algumas fotografias

b) Argilas Comerciais: Para cada uma das argilas comerciais foi considerado, inicialmente, que elas estavam com sua umidade higroscópica. Assim, foram confeccionados 25 tipos de solos com umidades variáveis ( $0\% \leq w \leq 90\%$ ). Logo, os seguintes procedimentos foram realizados:

- 1º. Utilizando a balança de precisão, tarou-se o recipiente padrão e então, pesou-se 100g de cada solo;
- 2º. Fotografou-se, com ao menos duas câmeras de diferentes celulares, cada solo dentro do recipiente padrão;
- 3º. Aumentou-se a umidade do solo com distintos percentuais, misturando-o até atingir a homogeneidade, e sempre o fotografando novamente;
- 4º. Repetiu-se o passo 3 até o solo apresentar-se liquefeito;
- 5º. Transferiu-se parte do solo em análise para as capsulas, previamente pesadas, levando-os à estufa, onde foram secos até obter-se constância de peso, obtendo-se, assim, as respectivas umidades;
- 6º. Foram armazenadas as fotografias, separando-as em suas devidas pastas.

A figura 7 apresenta parte das pastas que armazenam as fotos das argilas compradas e confeccionadas. Além disso, apresentam-se um detalhe das três fotografias disponíveis das "Argila Preta – 10%" e das quatro fotos da "Argila Rosa – 20%". Destaca-se que os percentuais, 10% e 20%, estão associados a umidade do solo daquelas amostras. E que,

nestes casos, foram utilizadas três e quatro câmeras para a “Argila Preta – 10%” e “Argila Rosa – 20%”, respectivamente.

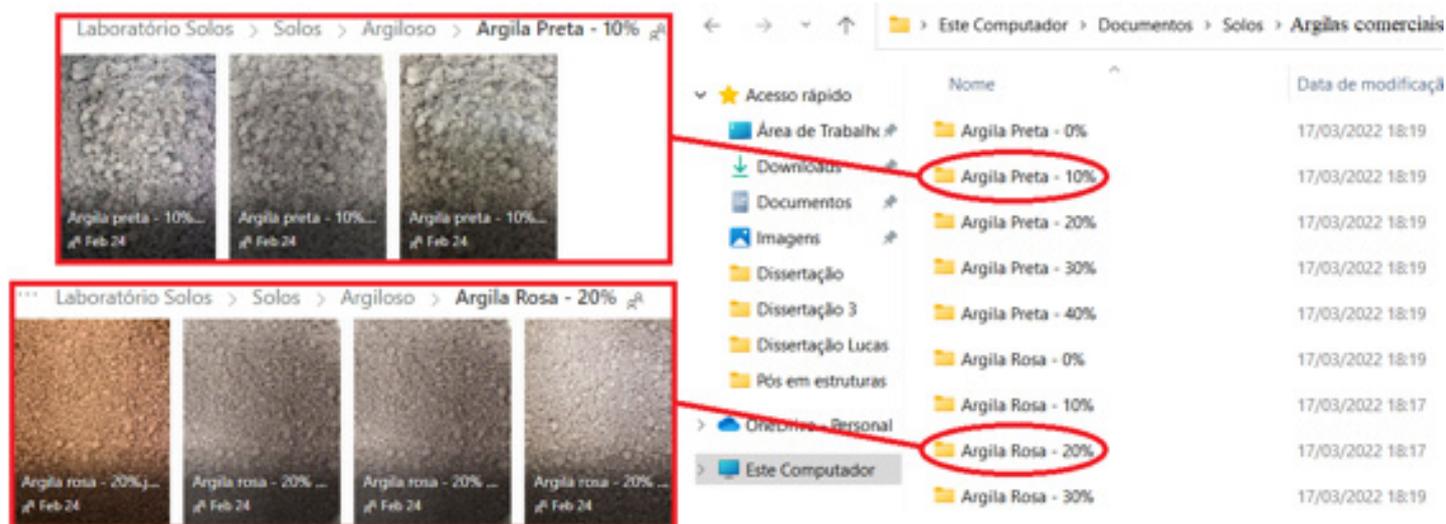


Figura 7 – Armazenamento de parte das argilas comerciais já devidamente catalogadas

Com efeito, após os procedimentos descritos foram confeccionados e fotografados 25 tipos de solos diferentes. Cabe destacar que foi definido, para simplificar a nomenclatura de cada solo, uma letra e um percentual, associados aos tipos de argilas e a umidade, respectivamente. Assim, para a argila de coloração verde foi utilizada a letra “V”, para a argila de coloração rosa foi utilizada a letra “R”, para a argila de coloração preta foi utilizada a letra “P” e para a argila de coloração branca foi utilizada a letra “B”. A tabela 4 apresenta as características de cada solo fabricado a partir das quatro argilas compradas e os diferentes percentuais de umidade.

Nomenclatura	Argila verde (%)	Argila rosa (%)	Argila Preta (%)	Argila Branca (%)	Água (%)
V 0%	100				0
V 10%	100				10
V 20%	100				20
V 30%	100				30
V 40%	100				40
V 50%	100				50
V 70%	100				70
V 90%	100				90
R 0%		100			0
Nomenclatura	Argila verde (%)	Argila rosa (%)	Argila Preta (%)	Argila Branca (%)	Água (%)
R 20%		100			20
R 40%		100			40
R 60%		100			60
R 70%		100			70
R 90%		100			90
P 0%			100		0
P 10%			100		10
P 20%			100		20

P 30%	100	30
P 40%	100	40
B 0%	100	0
B 10%	100	10
B 20%	100	20
B 30%	100	30

Tabela 4 - Banco de dados - Solos confeccionados pelas quatro argilas comerciais em diferentes umidades.

c) Solos Fabricados: A fabricação dos solos consistiu em uma mistura, sempre composta, da areia pura do Farol de São Tomé combinada a um ou dois tipos das argilas comerciais. Os itens a seguir apresentam a base utilizada para a confecção desses solos:

- I. 15g de argila comercial + 85g de areia, gerando um solo intermediário;
- II. 30g de argila comercial + 70g de areia, gerando um solo argiloso;
- III. Combinação de duas argilas comerciais, sendo 15g de cada (total 30g) com 70g de areia, gerando um solo argiloso.

Foi considerado que a areia pura e as argilas utilizadas encontravam-se na umidade higroscópica. Assim, foram confeccionados 63 tipos de solos com umidades variáveis ( $0\% \leq w \leq 70\%$ ). Logo, os seguintes procedimentos foram realizados:

- 1º. Utilizando a balança de precisão, tarou-se o recipiente padrão e então, pesou-se 100g de cada solo;
- 2º. Misturou-se a combinação dos solos até torná-la homogênea;
- 3º. Fotografou-se, com ao menos duas câmeras de diferentes celulares, cada solo dentro do recipiente padrão;
- 4º. Aumentou-se a umidade do solo com distintos percentuais, misturando-o até atingir a homogeneidade, conforme figura 8(a), e sempre fotografando-o novamente, de acordo com a Figura 8(b);
- 5º. Repetiu-se o passo 3 até o solo apresentar-se liquefeito;
- 6º. Transferiu-se parte do solo em análise para as capsulas, previamente pesadas (figura 8(c)), levando-os à estufa, onde foram secos até obter-se constância de peso (figura 8(d)) e obtendo-se, assim, as respectivas umidades;
- 7º. Armazenou-se as fotografias, separando-as em suas devidas pastas.

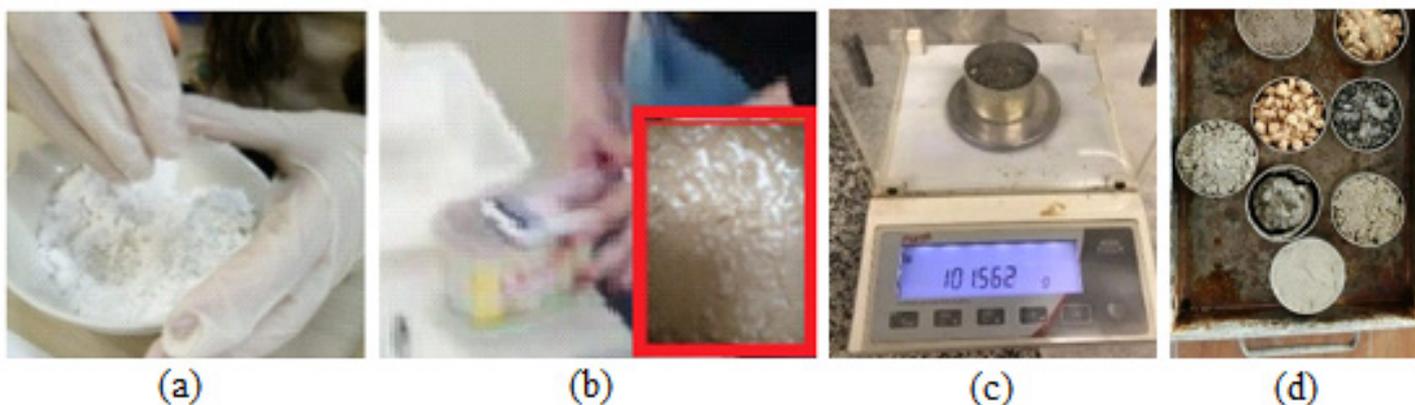


Figura 8 – (a) Mistura do solo com água; (b) Foto no recipiente padrão de um determinado tipo de solo; (c) Pesagem da cápsula mais solo; (d) Solos após secagem na estufa

A figura 9 apresenta parte das pastas que armazenam as fotos dos solos fabricados a partir da mistura da areia pura do Farol de São Tomé e um ou dois tipos das argilas comerciais. Além disso, apresentam-se um detalhe das quatro fotografias disponíveis do solo fabricado denominado “15% argila branca 15% argila preta 70% areia – 10% água” e das quatro fotos do solo fabricado “15% argila branca 85% areia – 10% água”. Destaca-se que os percentuais nos nomes dos solos fabricados referem-se as quantidades de cada tipo de solo/água utilizados para a fabricação daquelas amostras.

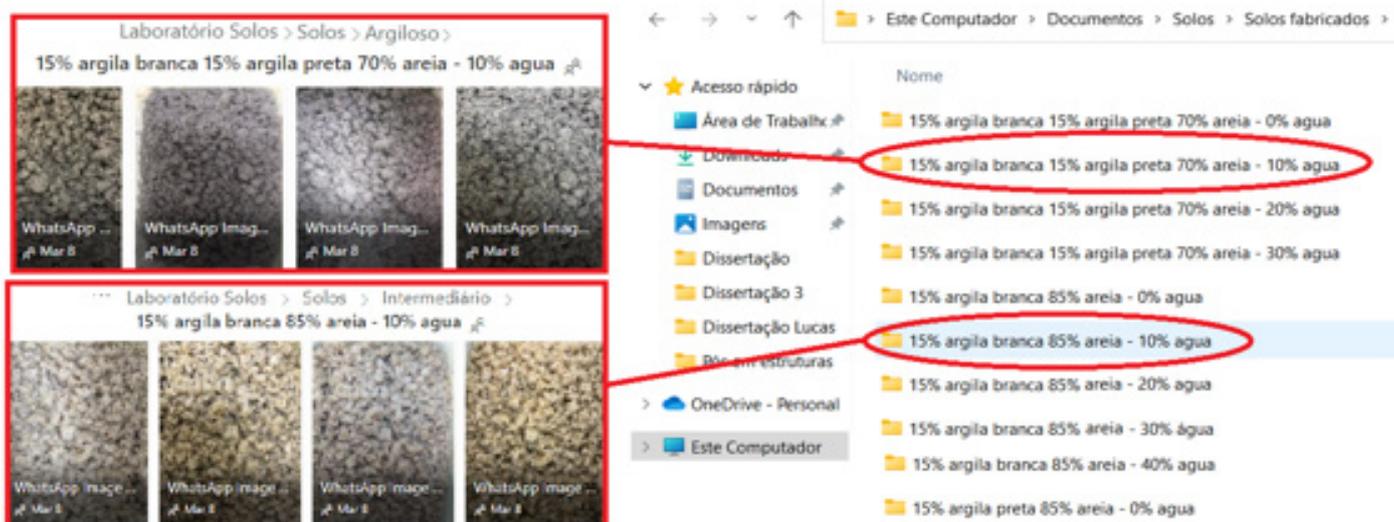


Figura 9 – Armazenamento dos solos fabricados já devidamente catalogados

Utilizando os procedimentos descritos foram confeccionados e fotografados 63 tipos de solos diferentes. Um procedimento semelhante ao utilizado anteriormente foi utilizado para criar a nomenclatura das amostras. A única diferença é que, nas nomenclaturas dos solos fabricados, os valores de 85 e 70 são referentes a areia pura de São Tomé. A tabela 5 apresenta as características de cada solo fabricado a partir das quatro argilas compradas e da areia pura de São Tomé.

Nomenclatura	Argila Verde	Argila Rosa	Argila Preta	Argila Branca	Areia	Água
V15/85 10%	15%				85 %	10 %
V15/85 20%	15%				85 %	20 %
V15/85 30%	15%				85 %	30 %
V15/85 40%	15%				85 %	40 %
V15/85 50%	15%				85 %	50 %

## Capítulo 7

V15/85 60%	15%				85 %	60 %
V15/85 70%	15%				85 %	70 %
R15/85 10%		15%			85 %	10 %
<b>Nomenclatura</b>	<b>Argila Verde</b>	<b>Argila Rosa</b>	<b>Argila Preta</b>	<b>Argila Branca</b>	<b>Areia</b>	<b>Água</b>
R15/85 30%		15%			85 %	30 %
R15/85 40%		15%			85 %	40 %
R15/85 50%		15%			85 %	50 %
R15/85 60%		15%			85 %	60 %
P15/85 0%			15%		85 %	0 %
P15/85 10%			15%		85 %	10 %
P15/85 20%			15%		85 %	20 %
B15/85 0%				15 %	85 %	0 %
B15/85 10%				15 %	85 %	10 %
B15/85 20%				15 %	85 %	20 %
B15/85 30%				15 %	85 %	30 %
B15/85 40%				15 %	85 %	40 %
V30/70 0%	30 %				70 %	0 %
V30/70 10%	30 %				70 %	10 %
V30/70 20%	30 %				70 %	20 %
V30/70 30%	30 %				70 %	30 %
V30/70 40%	30 %				70 %	40 %
R30/70 0%		30 %			70 %	0 %
R30/70 10%		30 %			70 %	10 %
R30/70 20%		30 %			70 %	20 %
R30/70 30%		30 %			70 %	30 %
R30/70 40%		30 %			70 %	40 %
R30/70 50%		30 %			70 %	50 %
V15/R15/70 0%	15 %	15 %			70 %	0 %
V15/R15/70 10%	15 %	15 %			70 %	10 %
V15/R15/70 20%	15 %	15 %			70 %	20 %
V15/R15/70 30%	15 %	15 %			70 %	30 %
V15/R15/70 40%	15 %	15 %			70 %	40 %
V15/R15/70 50%	15 %	15 %			70 %	50 %
V15/R15/70 60%	15 %	15 %			70 %	60 %
V15/P15/70 0%	15 %		15 %		70 %	0 %
V15/P15/70 10%	15 %		15 %		70 %	10 %
V15/P15/70 20%	15 %		15 %		70 %	20 %
V15/P15/70 30%	15 %		15 %		70 %	30 %
V15/P15/70 40%	15 %		15 %		70 %	40 %
V15/B15/70 0%	15 %			15 %	70 %	0 %
V15/B15/70 10%	15 %			15 %	70 %	10 %
V15/B15/70 20%	15 %			15 %	70 %	20 %
V15/B15/70 30%	15 %			15 %	70 %	30 %
V15/B15/70 40%	15 %			15 %	70 %	40 %
R15/P15/70 0%		15 %	15 %		70 %	0 %



R15/P15/70 10%	15 %	15 %	70 %	10 %		
<b>Nomenclatura</b>	<b>Argila Verde</b>	<b>Argila Rosa</b>	<b>Argila Preta</b>	<b>Argila Branca</b>	<b>Areia</b>	<b>Água</b>
R15/P15/70 30%	15 %	15 %			70 %	30 %
R15/P15/70 40%	15 %	15 %			70 %	40 %
R15/B15/70 0%	15 %			15 %	70 %	0 %
R15/B15/70 10%	15 %			15 %	70 %	10 %
R15/B15/70 20%	15 %			15 %	70 %	20 %
R15/B15/70 30%	15 %			15 %	70 %	30 %

Tabela 5 - Solos fabricados pelas argilas e areia pura do Farol de São Tomé.

### 2.2.3 Classes, hipóteses e conceitos

As classes consideradas na metodologia desta pesquisa para a identificação do comportamento dos solos verificados foram: “areias”, “argilas” e “solos intermediários”. A partir destas três classes as seguintes hipóteses foram adotadas para realizar a classificação dos solos:

- Solos com menos de 12% de finos são areias;
- Solos com mais de 20% de finos são argilas;
- Solos que possuem entre 12% a 20% de finos são solos intermediários.

É muito importante lembrar que essas hipóteses associadas aos percentuais de partículas finas do material fazem menção a duas características básicas dos solos: composição granulométrica e comportamento de engenharia. A composição granulométrica, naturalmente, refere-se ao diâmetro dos grãos dos solos. Já o comportamento de engenharia está interligado com a maneira pela qual aquele tipo de solo vai se comportar quando submetido a um determinado carregamento. Assim, por exemplo, argilas estariam relacionadas a um comportamento não-drenado, areias ao comportamento drenado e solos intermediários ao comportamento parcialmente drenado.

Cabe esclarecer dois conceitos básicos para a utilização da inteligência artificial mediante a qualquer plataforma: treino e teste. O treino da IA é o procedimento que vai ensinar a plataforma que está sendo utilizada a se acostumar com padrões das classes pré-determinadas anteriormente. O teste da IA vai verificar se um dado pertence a uma classe ou a outra. Com efeito, os dados que são utilizados para teste não podem ter participado da fase de treino da IA.

De acordo com RASCHKA E MIRJALILI (2017) pode-se adotar uma faixa de 70% a 90% do valor total de elementos do banco de dados para o caso do treino e, consequentemente os outros 30% a 10% para o teste. Assim, foram utilizados 80% do valor total dos tipos de solos para treino e 20% para teste.

## 2.4 Procedimentos

### 2.4.1 Generalidades

Para a utilização das imagens no software escolhido foi necessária a numeração contínua de todos os arquivos .JPEG (1 até 333), lembrando que nesses 333 arquivos, existem fotos do mesmo tipo de solo fotografadas por câmeras diferentes.

### 2.4.2 Etapas

Os procedimentos a serem adotados neste trabalho estão associados a três etapas: (i) pré-processamento; (ii) processamento e (iii) pós-processamento. Cabe destacar que nestas etapas algumas ações são realizadas pela equipe e outras podem ser realizadas de forma automática pelo programa que está sendo utilizado. A figura 10 apresenta um organograma com as três principais etapas dos procedimentos e as ações necessárias em cada uma delas.

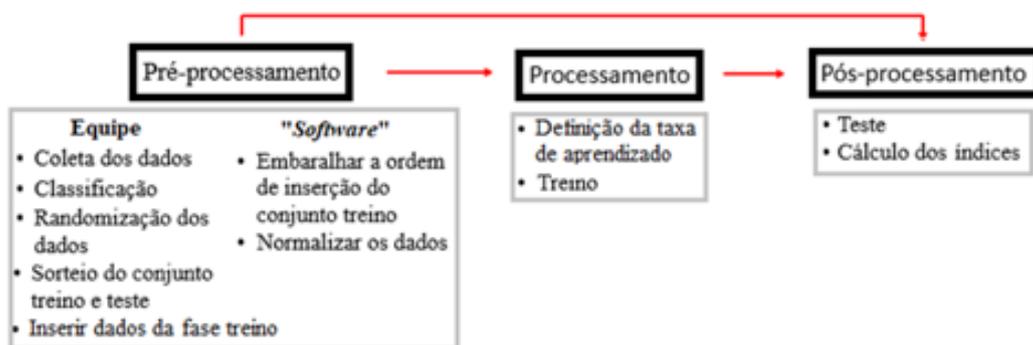


Figura 10 – Organograma das principais etapas para a utilização da IA

(i) Pré-processamento:

Os arquivos do banco de dados foram analisados previamente pela equipe e as imagens foram separadas de acordo com a classificação: "areia", "argila" e "solos intermediários". Como resultado, foram obtidas 28 imagens de "areias", 226 imagens de "argilas" e 79 imagens de "solos intermediários". As figuras 11(a), 11(b) e 11(c) apresentam uma foto de cada solo classificado: "areia", "argila" e solo "intermediário", respectivamente.

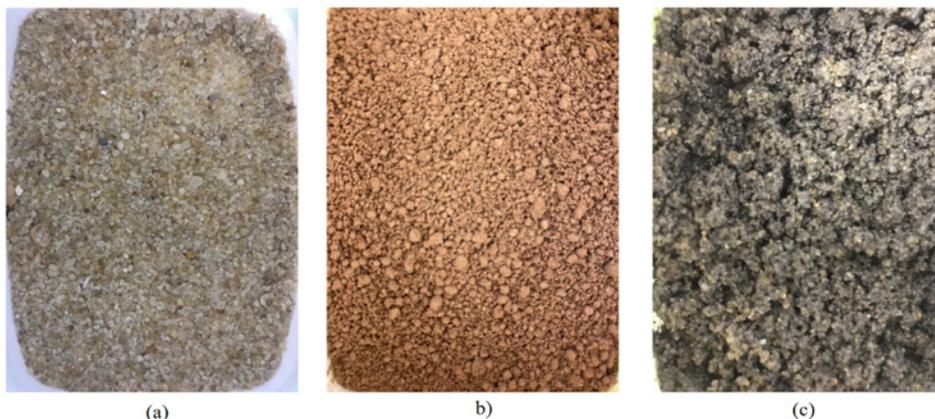


Figura 11 – (a) "Areia"; (b) "Argila"; (c) "Solo intermediário"

Cabe destacar que por problemas de logística não foi possível fotografar os 96 tipos de solos com os quatro aparelhos de celulares utilizados nesta pesquisa. A premissa adotada foi que, pelo menos, dois tipos de celulares distintos fossem utilizados. Assim, foram obtidas no total 333 imagens referentes aos 96 diferentes tipos de solos. Todas as fotos foram armazenadas em pastas associadas a estes 96 tipos de solos.

Logo o sorteio foi realizado com a razão de 80% dos dados para treino e 20% dos dados para teste sobre a quantidade de solos diferentes. Ao final, obteve-se 20 tipos de solos para teste e 76 para treino. O que resultou em 72 imagens para teste e 261 imagens para treino. Desta forma, foram selecionados para treino 6 solos arenosos, 51 solos argilosos e 19 solos intermediários. Da mesma forma, esse procedimento resultou em 24 imagens de solos arenosos, 162 de solos argilosos e 75 imagens de solos intermediários.

O sorteio dos conjuntos a serem treinados (80%) e testados (20%) foram realizados a partir de uma ferramenta gratuita (<https://sorteador.com.br/>). A figura 12(a) apresenta a página inicial do site utilizado como ferramenta de sorteio dos números e a figura 12(b) mostra um exemplo de sorteio.



Figura 12 – (a) Página inicial do site escolhido para realizar o sorteio; (b) Exemplo de números sorteados  
Fonte: adaptado de <https://sorteador.com.br/>, acessado em 08/03/2022

As imagens referentes à fase de treino da IA foram inseridas na plataforma pela equipe. Cabe destacar que, no caso do *Teachable Machine*, as ações referentes a embaralhar a ordem de inserção do conjunto de imagens da fase de treino e normalização dos dados são realizadas automaticamente pela plataforma.

#### (ii) Processamento:

Antes de se iniciar o treino da IA é necessário a definição da taxa de aprendizado (*learning rate*) que, neste caso, por padrão, foi de 0,001. Para treinar a IA, a partir do programa escolhido, clica-se no botão *train model* e a plataforma inicia esta importante fase de aprendizado. A figura 13(a) apresenta o início do treinamento do programa com a definição da taxa de aprendizado.

#### (iii) Pós-processamento:

Por fim, com a IA pronta para identificar os padrões ensinados a partir das classes pré-determinadas, inicia-se o teste com as imagens sorteadas anteriormente. É muito importante destacar que, naturalmente, as imagens que são utilizados na fase de teste não

são as mesmas utilizadas para a fase de treino. Este procedimento visa evitar qualquer viés na análise dos dados.

Vale destacar que foram selecionados para teste 1 solo arenoso, 17 solos argilosos e 2 solos intermediários. Da mesma forma, esse procedimento resultou em 4 imagens de solos arenosos, 60 de solos argilosos e 8 imagens de solos intermediários. A figura 13(b) apresenta o resultado de um dos testes realizados em uma das imagens classificada anteriormente pela equipe como “solo intermediário” e classificada pelo *Teachable Machine* também como “solo intermediário”.

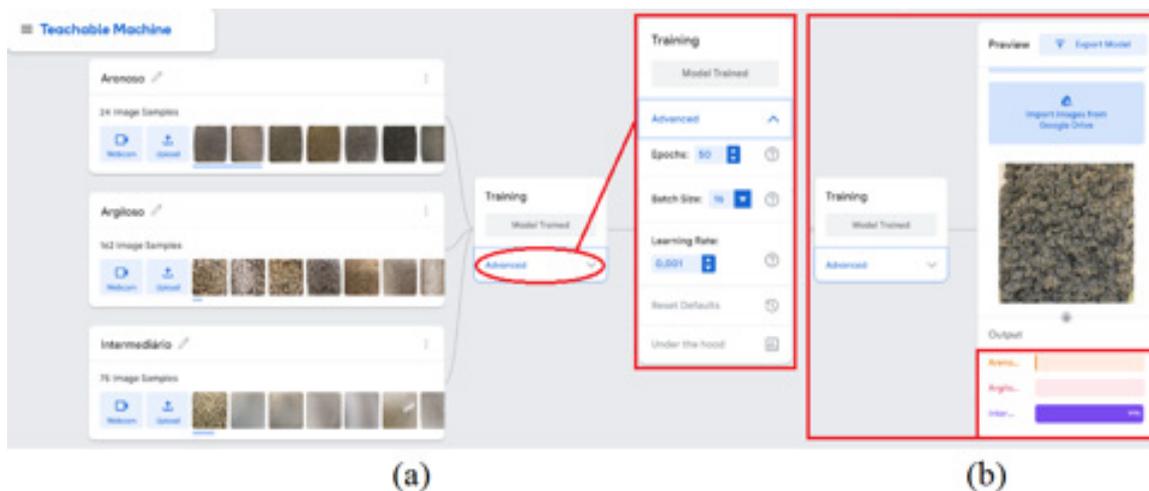


Figura 13 – (a) Fase de treinamento do *software*; (b) Saída de dados do *Teachable Machine*  
 Fonte: adaptado de <https://teachablemachine.withgoogle.com/>, acessado em 08/03/2022

### 3. RESULTADOS

O desempenho de uma inteligência artificial pode ser medido a partir de diversos índices (e.g.: acurácia, erro, taxa de falsos positivos, etc.). No presente trabalho avaliou-se a IA a luz da métrica da acurácia. Cabe lembrar que a acurácia é a relação entre o percentual de acerto da IA em cada caso testado e o número total de testes.

Essa abordagem foi realizada a partir dos dados reservados para os testes das imagens obtidas a partir da IA, selecionados de forma aleatória. Vale ressaltar que a plataforma exibe as probabilidades das imagens testadas pertencerem a uma das três classes pré-determinadas. Assim, a tabela 6 mostra as probabilidades previstas pela IA de cada imagem pertencer a sua classe original e por fim apresenta uma coluna, denominada média, com a média aritmética entre os testes realizados para cada tipo de solo<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> A boa prática da análise da eficiência de uma I.A. passa pelo parâmetro da acurácia em termos apenas da média. Análises com parâmetros estáticos mais avançados não se justificam para uma análise que não envolva *big data*.

Nomenclatura	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Média
Areia do Açú 1	100%	100%	100%	100%	100%
P15/B15/70 30%	43%	100%	14%	100%	64%
R15/B15/70 30%	51%	0%	28%	0%	20%
V15/B15/70 0%	100%	100%	-	-	100%
V15/B15/70 20%	19%	100%	54%	100%	68%
V15/P15/70 40%	100%	100%	100%	100%	100%
V15/R15/70 10%	96%	98%	1%	0%	49%
V15/R15/70 20%	100%	10%	27%	100%	59%
V15/R15/70 50%	100%	100%	100%	0%	75%
V15/R15/70 60%	96%	100%	2%	100%	75%
R30/70 10%	76%	87%	12%	-	58%
R 10%	100%	100%	100%	100%	100%
R 20%	100%	100%	100%	100%	100%
V 0%	100%	100%	100%	100%	100%
V 10%	100%	100%	100%	100%	100%
V 20%	100%	100%	100%	-	100%
B 10%	100%	100%	-	-	100%
B 20%	100%	100%	-	-	100%
P15/85 10%	53%	0%	99%	8%	40%
V15/85 70%	99%	67%	0%	84%	63%

Tabela 6 - Probabilidades das previsões da IA.

A partir destas médias aritméticas dos 20 tipos de solos testados obteve-se a acurácia do modelo. Para o caso apresentado, os cálculos revelaram uma acurácia de aproximadamente 79%.

## 4. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma plataforma gratuita de inteligência artificial denominada *Teachable Machine* foi utilizada na presente pesquisa para a previsão da composição do solo, a partir de fotos de um banco de dados. Este banco de dados foi composto por 96 tipos de solos do estado do Rio de Janeiro e possuía 333 imagens. Cabe destacar que as fotografias foram feitas por câmeras diferentes em um recipiente padrão.

A composição dos solos foi dividida em três classes: arenoso, argiloso e intermediário. A IA apresentou um bom comportamento ao diferenciar os solos arenosos dos solos argilosos e intermediários. Entretanto, não diferenciou bem solos intermediários dos solos argilosos.

Normalmente, essa diferença entre classes dos solos é identificada por meio de ensaios de caracterização completa em laboratório, como, por exemplo, o de granulometria. Estes ensaios são específicos e demoram muito mais que a metodologia proposta nesta pesquisa. Além disso, o custo desses ensaios de laboratório é bem elevado, fazendo com que muitas empresas não os realizem corriqueiramente.

Conclui-se então que a metodologia proposta é precisa e leva menos tempo para classificar o solo entre areia e argila/intermediário, fornecendo um resultado rápido e justo, independentemente do tipo de câmera utilizada. Este resultado corrobora o intuito da pesquisa, mostrando-se uma boa alternativa ao setor construtivo, que passa a contar com um recurso moderno, prático e eficiente.

## Referências

ANGRA, S.; AHUJA, S. (2017). Machine learning and its applications: a review. **In Big Data Analytics and Computational Intelligence (ICBDAC)**, International Conference on. IEEE, pp. 57-60.

TAVARES et al. **Identificação de problemas nos sensores de estacas hélice a partir de uma inteligência artificial**. In: ANAIS DO XX COBRAMSEG, 2022, Campinas. Anais eletrônicos. Campinas, Galoá, 2022. Disponível em: <<https://proceedings.science/cobramseg-2022/papers/identificacao-de-problemas-nos-sensores-de-estacas-helice-a-partir-de-uma-inteligencia-artificial>> Acesso em: 02 set. 2022.

RASCHKA S. E MIRJALILI V. (2017). **Python Machine Learning: Machine Learning and Deep Learning with Python, scikit-learn, and TensorFlow**, 2nd ed., Packt, Mumbai, India, 622 p

TEACHABLE MACHINE. Disponível em: <<https://teachablemachine.withgoogle.com/>> Acesso em: 08/03/2022.

SORTEADOR. Disponível em: <<https://sorteador.com.br/>> Acesso em: 08/03/2022.



# CAPÍTULO 8

## **ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO NÃO-DRENADO OBTIDOS A PARTIR DE DIFERENTES MODELOS DE CORRELAÇÕES COM BASE EM ENSAIOS $CPT_u$**

*COMPARATIVE ANALYSIS BETWEEN UNDRAINED SHEAR STRENGTH  
PARAMETERS OBTAINED FROM DIFFERENT CORRELATION MODELS  
BASED ON  $CPT_u$  TESTS*

**Gabriele Soares dos Santos  
Lúcio Flávio de Souza Villar**

## Resumo

Com a mudança na legislação após os acidentes geotécnicos envolvendo barragens de rejeito em Minas Gerais, houve a necessidade de se expandir os estudos sobre potencial de liquefação em rejeitos. Nesse sentido, verifica-se a importância da definição do parâmetro de resistência não-drenada que serão empregados nas análises de estabilidade. Com base nessa premissa, esse trabalho tem como objetivo estudar de forma comparativa os parâmetros de resistência não-drenada liquefeita a partir da aplicação de diferentes correlações baseadas em ensaio CPTu em rejeito de minério. Para realizar essa análise comparativa, também foram selecionados, na literatura, razões de resistência liquefeita e, com isso, determinou-se uma região com limites inferiores e superiores mais frequentes. Verificou-se, a partir dos resultados, que as metodologias de Olson (2001) e Sadrekarimi (2014) apresentam resultados mais conservadores, e recomenda-se a adoção dos critérios de Olson (2001) para parâmetros de anteprojeto.

**Palavras-chave:** barragem; rejeito de minério de ferro; liquefação; resistência não-drenada liquefeita; ensaios de campo; CPTu.

## Abstract

The change in legislation after the geotechnical accidents involving tailings dams in Minas Gerais, Brazil, demonstrated that more studies about the potential of tailings' liquefaction are necessary. To perform tailings' liquefaction analyses it is important to define the ratio between the undrained shear strength pos liquefaction and the initial effective normal stress. This ratio is here in called the liquefied undrained shear strength ratio ( $S_{u(liq)}/s'_{v0}$ ). This paper presents a comparative study between different values of liquefied undrained shear strength ratio obtained using four empirical methodologies based on CPTu tests results in iron tailings. Liquefied undrained shear strength ratios were also selected from previous studies to define a zone of the most frequent values as comparison. It was found that the methodologies proposed by Olson (2001) and Sadrekarimi (2014) generate conservatives results and it is recommended to adopt Olson's (2001) criteria for preliminary design parameters.

**Keywords:** iron tailings; liquefied strength; CPTu; tailings dams; in situ tests.

## 1. INTRODUÇÃO

A extração dos minerais gera um subproduto denominado rejeito, que é todo o material resultante de processos químicos e físicos envolvidos nesta extração (ARAUJO, 2006) e que mais comumente são estocados em barragens, chamadas de barragens de rejeito. Com base no mais recente acidente geotécnico ocorrido em janeiro de 2019, em Minas Gerais, a liquefação estática está entre as principais causas que ocasionaram a ruptura da barragem em Brumadinho segundo o Relatório do Painel de Especialistas Sobre as Causas Técnicas do Rompimento da Barragem I do Córrego do Feijão (ROBERTSON et al., 2019), podendo, também, ser a principal causa de ruptura de barragens de rejeito em geral.

Em geral, esse fenômeno da liquefação estática pode ser entendido como a redução da resistência ao cisalhamento causada pelo acréscimo de poropressão em materiais granulares ou com baixa coesão, fofos e saturados, que resulta em uma significativa redução da tensão efetiva (PIRETE, 2010). Após o acionamento do gatilho de liquefação, que pode ser causado tanto por carregamento estático quanto pela consequência de carregamentos cíclicos, a tensão cisalhante atuante aumenta até se igualar a resistência de pico ( $S_{u(pico)}$ ). Dessa forma, a estrutura tende a ficar instável e o material tende a continuar deformando até atingir a condição de estado permanente e, com isso, a resistência do material continua a diminuir, até atingir a resistência liquefeita ( $S_{u(liq)}$ ) (SILVA, 2010 *apud* FERREIRA e GOMES, 2016). Para a determinação destes parâmetros, há diferentes correlações baseadas em ensaios de campo. O objetivo desse trabalho consiste em avaliar a variação que pode haver nos resultados obtidos com o uso de algumas metodologias propostas por diferentes autores para a definição dos parâmetros de resistência não drenada na avaliação do potencial de liquefação de um reservatório de rejeito de minério de ferro e comparar com resultados obtidos em outros trabalhos presentes na literatura.

## 2. METODOLOGIA

A avaliação quanto à suscetibilidade à liquefação do rejeito, assim como a estimativa dos parâmetros de resistência ao cisalhamento não drenado podem ser determinados a partir de diversas metodologias. Nesse trabalho, propõe-se a aplicação de diferentes correlações baseadas em ensaios CPTu (*Cone Penetration Test with pore pressure measurement*).

Com o uso deste tipo de ensaio, a avaliação quanto ao potencial de liquefação foi feito utilizando a metodologia de Olson (2001), que consiste na classificação comportamental do solo e a segunda na classificação do solo em um ábaco, chamado SBTn, apresentado por Robertson (2016). Para a estimativa da razão de resistência liquefeita por meio de correlações empíricas com resultados do ensaio CPTu foram selecionadas quatro metodologias, são elas: Olson (2001), Robertson (2010), Jefferies e Been (2016), e Sadrakarimi (2014).

## 2.1 Avaliação da suscetibilidade à liquefação

### 2.1.1 Metodologia de Olson (2001)

A metodologia proposta por Olson (2001) utilizada para avaliar o potencial de liquefação do solo tem sua base nas correlações entre razões de resistência ao cisalhamento e resistência à penetração normalizadas a partir de ensaios de campo (SPT e/ou CPTu). Conforme o autor, o primeiro passo para determinar a suscetibilidade a liquefação do rejeito consiste em avaliar, mediante a caracterização do seu comportamento sob cisalhamento, se esse material é contrátil ou dilatante. Essa avaliação é feita a partir de um gráfico, cujo limite é estabelecido pela envoltória modificada de Fear e Robertson (1995), conforme a Equação 1.

$$(\sigma'_{v0})_{ENV} = 1,1047 \times 10^{-2} \times [(q_{c1})]^{4,7863} \quad (1)$$

Onde  $q_{c1}$  é a resistência de ponta corrigida e  $(\sigma'_{v0})_{ENV}$  é a tensão vertical efetiva definida pela envoltória modificada de Fear e Robertson (1995).

### 2.1.2 Metodologia de Robertson (2016)

A classificação de solos com relação a seu comportamento é dilatante ou compressivo proposta por Robertson (2016) tem sido utilizada para rejeitos de mineração (por exemplo, FERREIRA, 2018 e SOUZA & GOMES, 2020). O ábaco por ele desenvolvido é baseado em parâmetros normalizados obtidos a partir de ensaios CPTu, mais precisamente a resistência de ponta normalizada ( $Q_{tn}$ ) e a razão de atrito lateral normalizado ( $F_r$ ).

Na proposta de Robertson (2016), há sete classificações de comportamento dos solos, a saber: argiloso compressivo sensível, argiloso compressivo e dilatante, transicional (parcialmente drenado) compressivo e dilatante, arenoso compressivo e dilatante. Além da classificação com relação ao comportamento, o autor também propôs uma linha divisória, chamada de CD, com valor inicial de resistência de ponta normalizada igual a 70, no mesmo ábaco que relaciona a resistência de ponta normalizada ( $Q_{tn}$ ) e a razão de atrito lateral normalizado ( $F_r$ ), e esta linha CD determinaria o limite entre material contrátil e dilatante (ver a Figura 01b).

## 2.2 Correlações para estimativa da resistência ao cisalhamento não-drenada liquefeita

### 2.2.1 Correlação proposta por Olson (2001)

As correlações para determinação da resistência ao cisalhamento não-drenado propostas por Olson (2001) foram baseadas na retro-análise de trinta e três (33) casos históricos de ruptura. As variáveis utilizadas nas correlações são obtidas a partir de ensaios

de campo do tipo CPT/CPTu e SPT. A correlação apresentada por Olson (2001) que utiliza como base o ensaio CPT/CPTu está apresentada na Equação 2.

$$\frac{S_u(liq)}{\sigma'_{v0}} = 0,03 + 0,0143(qc1) \pm 0,03 \quad (\text{para } qc1 \leq 6,5\text{Mpa}) \quad (2)$$

Onde  $qc1$  é resistência de ponta corrigida e  $\frac{S_u(liq)}{\sigma'_{v0}}$  é a razão de resistência ao cisalhamento não drenado liquefeita.

### 2.2.2 Correlação proposta por Robertson (2010)

De acordo com Robertson (2010), há uma relação entre o parâmetro de estado e a razão de resistência liquefeita ( $S_{u(liq)}/\sigma'_{v0}$ ). O parâmetro de estado representa a condição *in situ* de solos granulares, e pode ser definido como a diferença entre o índice de vazios atual e o índice de vazios de estado crítico para a mesma tensão média (SCHNAID, 2019). Os valores negativos do parâmetro de estado indicariam comportamento dilatante e de endurecimento com a deformação durante o cisalhamento não-drenado, enquanto valores positivos indicariam comportamento contrátil. Dessa forma, como a resistência à penetração normalizada equivalente ( $Q_{tn,cs}$ ) é essencialmente dependente do parâmetro de estado, pode ser obtida uma relação entre a razão de resistência liquefeita e a resistência à penetração normalizada equivalente. Sendo assim, para materiais com comportamento contrátil ( $Q_{tn,cs} \leq 70$ ), a resistência não-drenada liquefeita pode ser estimada pela Equação 3.

$$\frac{S_u(liq)}{\sigma'_{v0}} = \frac{[0,02199 - 0,0003124Q_{tn,cs}]}{[1 - 0,02676Q_{tn,cs} + 0,0001783(Q_{tn,cs})^2]} \quad (\text{para } 0,03 \leq S_{u(liq)}/\sigma'_{v0} \leq \tan\phi') \quad (3)$$

Onde  $Q_{tn,cs}$  é a resistência de ponta normalizada e corrigida para areias limpas.

### 2.2.3 Correlação proposta por Sadrekarimi (2014)

Na metodologia proposta por Sadrekarimi (2014), os efeitos do modo de cisalhamento são considerados nas correlações propostas para a estimativa da resistência não-drenada liquefeita a partir de ensaios de campo (SPT e CPT). Como base para o estudo, foram utilizados cerca de 600 ensaios laboratoriais, realizados em diferentes modos de cisalhamento. Os resultados obtidos foram comparados com casos históricos de rupturas por liquefação selecionados dos trabalhos de Olson (2001) e Muhammad (2012) (SADREKARIMI, 2014). Segundo Sadrekarimi (2014), uma superfície de ruptura potencial está sujeita a diferentes tensões e modos de cisalhamento. Dessa forma, o comportamento do solo ao ser cisalhado dependeria da superfície de ruptura e, logo, do seu modo de cisalhamento que poderia incluir extensão, compressão e cisalhamento simples. Neste trabalho foi utilizada apenas a correlação cujo modo de cisalhamento consiste no cisalhamento simples (Equação 4), uma vez que o autor mostrou que o cisalhamento associado a compressão resulta em valores maiores de razão de resistência liquefeita se comparados aos dois outros modos.

$$\frac{S_u (liq)}{\sigma'_{v0}} = 0,017 + 0,015(q_{c1}) \pm 0,006 \quad (\text{para } q_{c1} < 8 \text{ MPa}) \quad (4)$$

Em que  $q_{c1}$  corresponde à resistência de ponta corrigida,  $\sigma'_{v0}$  a tensão vertical efetiva e  $S_u (liq)$  o parâmetro de resistência ao cisalhamento não drenado liquefeita.

#### 2.2.4. Correlação proposta por Jefferies e Been (2016)

Para a estimativa do parâmetro de resistência não-drenada liquefeita a partir de ensaios de CPT/CPTu, Jefferies e Been (2016) observaram que a resistência de ponta normalizada ( $Q_{tn,cs}$ ) equivaleria ao parâmetro de estado ( $\psi$ ) e, por isso, sugeriram um ajuste na metodologia apresentada por Robertson (2010). Dessa forma, para materiais cujo comportamento tende a ser contrátil durante o cisalhamento, estes autores indicaram a seguinte correlação para ser utilizada (Equação 5).

$$\frac{S_u (liq)}{\sigma'_{v0}} = 0,0055 \exp(0,05 Q) \quad (\text{para } 0,03 \leq S_u (liq)/\sigma'_{v0} \leq \tan\phi') \quad (5)$$

Onde  $Q_{tn,cs}$  corresponde a resistência de ponta normalizada e corrigida para areias limpas.

### 2.3 Valores de razões de resistência liquefeita de rejeitos de minério de ferro obtidos na literatura

Foram selecionados diferentes estudos realizados em rejeito de minério de ferro, cujo parâmetro de resistência ao cisalhamento não-drenado foi calculado utilizando correlações baseadas em resultados ensaios de campo ou retro-análises (Tabela 1). Estes valores foram utilizados como referência da ordem de grandeza que tem sido encontrada para a razão de resistência liquefeita neste tipo de material.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 3.1 Análise de suscetibilidade à liquefação

A Figura 1 mostra os resultados obtidos a partir da aplicação da metodologia de Olson (2001) e Robertson (2016) para a avaliação do solo quanto ao seu comportamento, isto é, se contrátil ou dilatante à partir de resultados de ensaios CPTu dentro de um reservatório de rejeitos de minério de ferro. Destaca-se que todos os ensaios CPTu foram plotados em um mesmo gráfico e que foram considerados apenas os resultados obtidos na porção saturada do rejeito.

Fonte	Tipo de ensaio realizado	Metodologia de cálculo adotada	$(S_u (liq)/\sigma'_{v0})$
Souza e Gomes (2020)	CPT	Olson (2001)	0,090
		Olson (2001)	0,022 0,060
Ferreira (2018)	CPTu	Idriss e Boulanger (2008)	0,280 0,130
		Ensaio de Palheta	0,460 0,310
	Ferreira e Gomes (2016)	CPTu	Idriss e Boulanger (2008)
Olson (2001)			0,041 0,058 0,048 0,063
Robertson (2010)			0,080
Robertson (2010)			0,066 0,069
Robertson (2010)			0,093 0,075
Oliveira (2020)	CPTu	Sadrekarami (2014)	0,029 0,049 0,038
		Robertson (2010)	0,090
		Olson (2001)	0,070
		Robertson (2010)	0,070

Tabela 1 – Resultados de razão de resistência ao cisalhamento não drenado liquefeita de rejeito de minério de ferro coletados na literatura

Observou-se, pela Figura 1, que todas as amostras tem comportamento *Clay-like*, isso é, possuem granulometria fina, o que permite a ocorrência de uma condição de sollicitação não-drenada. Também foi verificado que, a partir da metodologia de Olson (2001), todos os perfis indicaram que os rejeitos são suscetíveis à liquefação e que, pela a metodologia de Robertson (2016), o CPTu-04 e CPTu-05 possuem alguns pontos com comportamento dilatante. Entretanto, devido à sua granulometria e a maioria de pontos dentro da região de comportamento contrátil, estes perfis também foram considerados como predominante suscetíveis à liquefação.

### 3.2 Determinação da razão de resistência liquefeita e análise comparativa dos resultados

Foram calculadas as razões de resistência liquefeita pelas metodologias de Olson (2001), Robertson (2010), Sadrekarimi (2014) e Jefferies e Been (2016). Com base nesses resultados, foram calculados as médias aritméticas, o valor máximo, o valor mínimo e foi gerado um histograma para cada correlação para determinar os valores mais frequentes ao longo da profundidade do perfil. Também foi gerado um histograma para os valores de razão de resistência liquefeita que foram selecionados da literatura, cujo resultado está ilustrado na Figura 2.

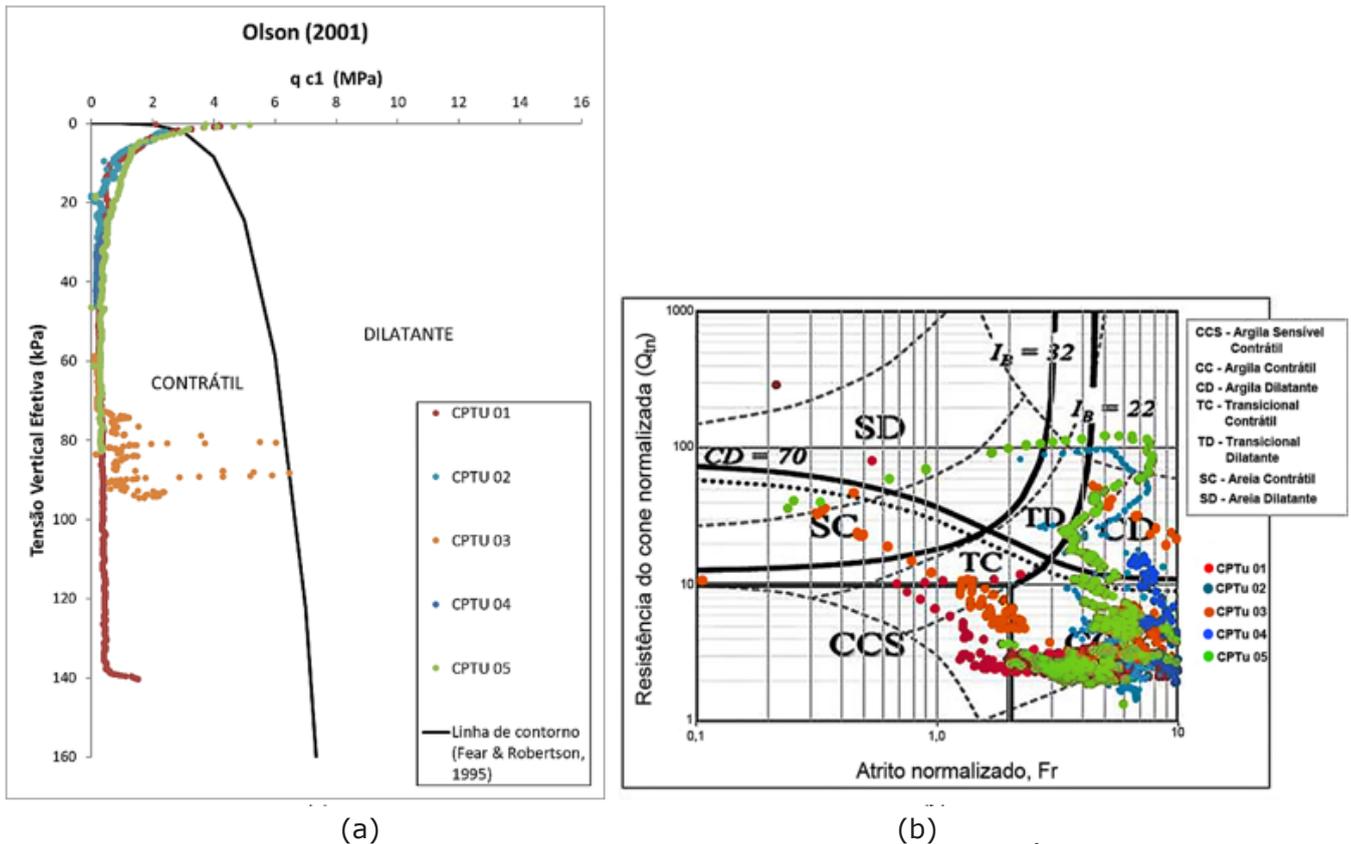


Figura 1. (a) Classificação do material a partir do critério de Olson (2001); (b) Ábaco para classificação do rejeito à partir dos resultados do ensaio tipo CPTu e do critério de Robertson (2016)

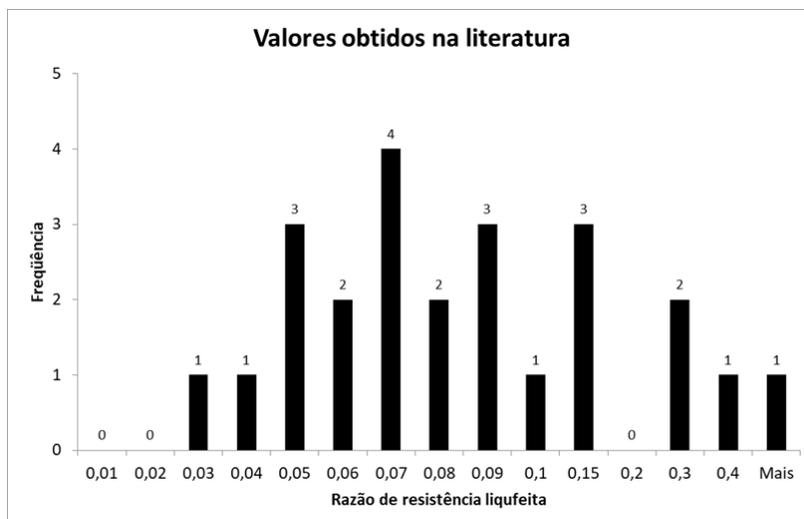


Figura 2 - Histograma dos valores de razão de resistência liquefeita obtidos da literatura (baseado nas referências mencionadas na Tabela 1).

A partir do histograma da Figura 2, verifica-se que os valores mais frequentes são próximos a 0,05, 0,07, 0,09 e 0,15 e que a frequência desses valores, somados, corresponde a 50% do espaço amostral. Sendo assim, para determinar o limite superior e inferior mais frequente, foram escolhidos o menor e o maior valor, ou seja, 0,05 e 0,15. Também foram feitas análises comparativas entre os valores máximos e mínimos obtidos nos ensaios realizados com os limites estipulados a partir da Figura 2. Para isso, as razões de resistência liquefeita estimadas a partir das quatro correlações usadas neste trabalho foram plotadas em um gráfico juntamente com estes limites estabelecidos dos valores obtidos da literatura. Primeiramente, foram comparados os valores máximos obtidos, em seguida, os valores mínimos e, por fim, a média aritmética e a moda. Os gráficos estão ilustrados nas Figuras 3 a 6.

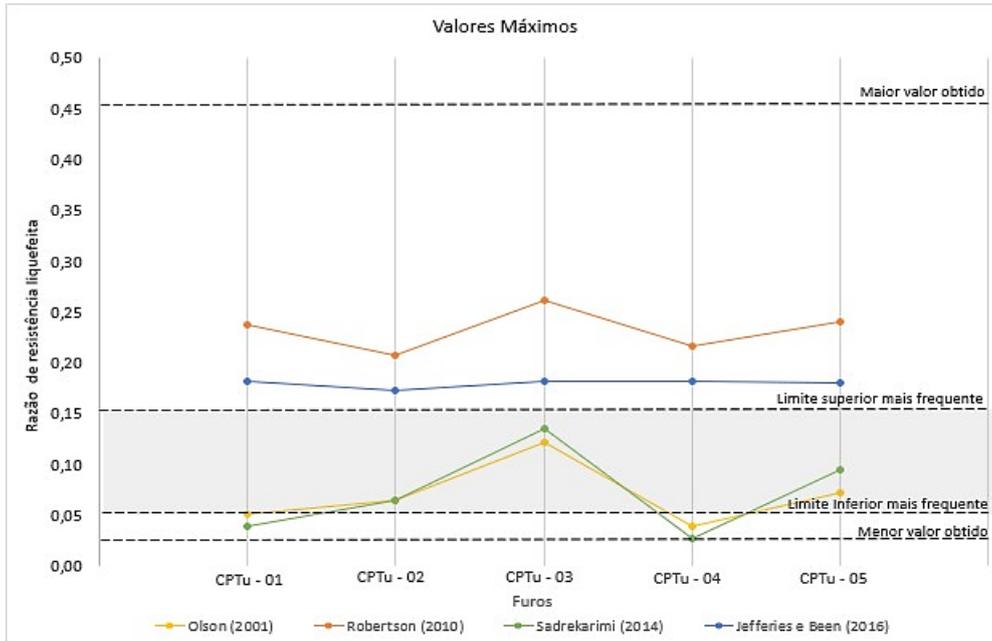


Figura 3 – Gráfico comparativo entre valores máximos obtidos dos ensaios em comparação com os limites inferiores e superiores levantados na literatura

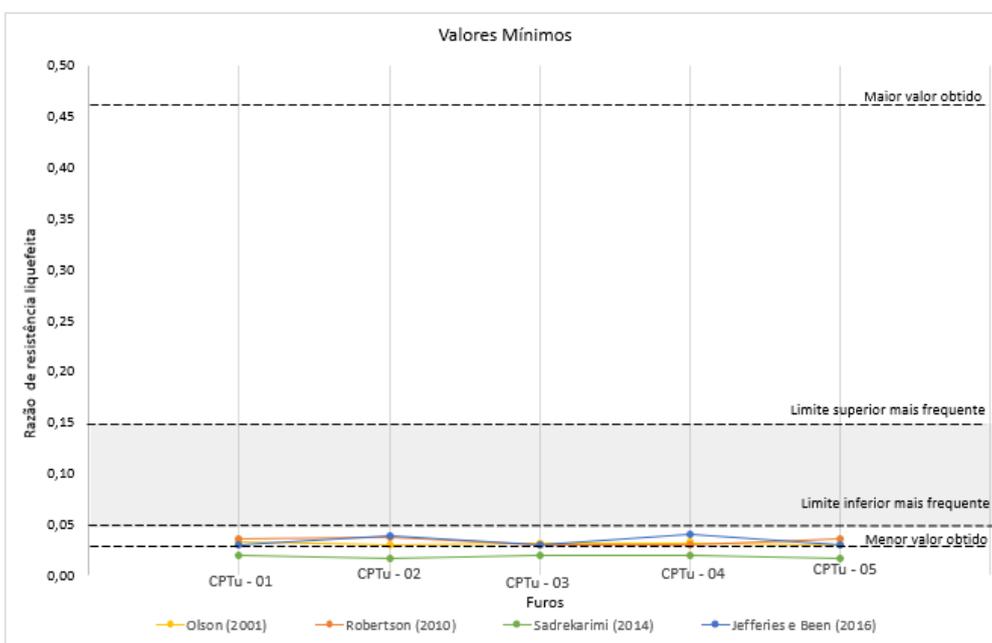


Figura 4 - Gráfico comparativo entre valores mínimos obtidos dos ensaios realizados em comparação com os limites inferiores e superiores levantados na literatura

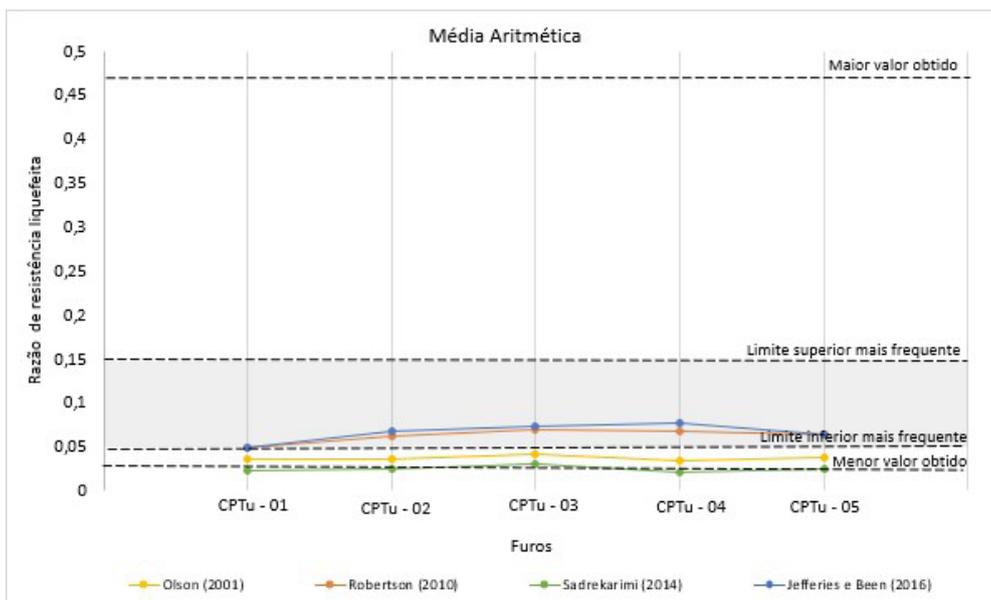


Figura 5 -Gráfico comparativo entre valores determinados pela média aritmética dos resultados obtidos dos ensaios realizados em comparação com os limites inferiores e superiores levantados na literatura

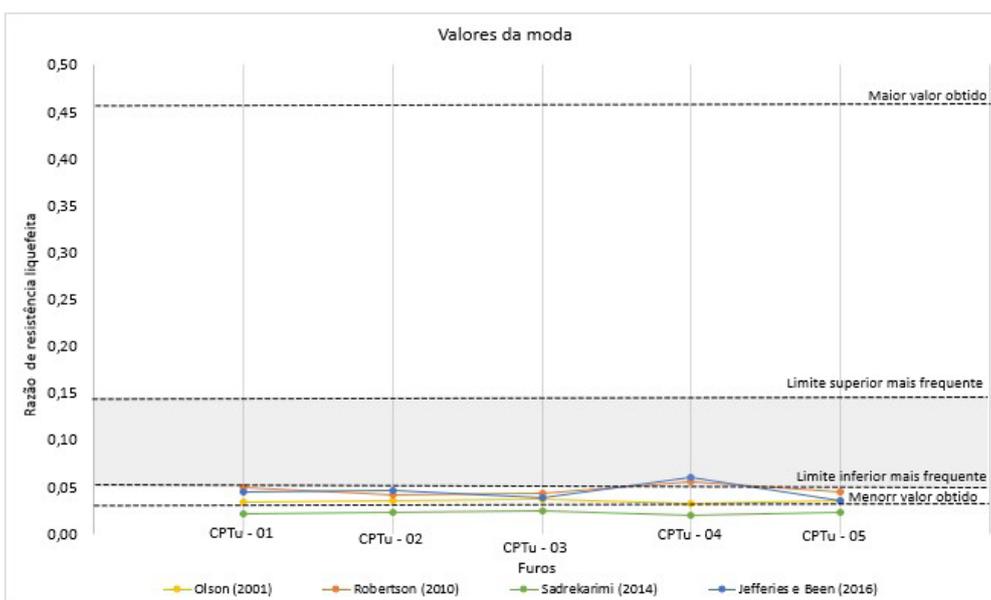


Figura 6 - Gráfico comparativo entre valores determinados pela frequência dos resultados (moda) obtidos dos ensaios em comparação com os limites inferiores e superiores levantados na literatura.

Com base nos gráficos apresentados, é possível observar que as metodologias de Olson (2001) e Sadrekarimi (2014) tem o mesmo comportamento, assim como os resultados oriundos a partir da metodologia de Robertson (2010) e Jefferies e Been (2016). A partir da análise comparativa, nota-se, também, que para a região estabelecida com limites que variam entre 0,05 e 0,15, se enquadram nesse intervalo apenas os valores máximos de Olson (2001) e Sadrekarimi (2014) e os valores obtidos a partir da média aritmética a partir da correlação de Robertson (2010) e Jefferies e Been (2016).

## 4. CONCLUSÕES

Pelos resultados gerados neste trabalho, a partir de ensaios do tipo CPTu executados em rejeitos de minério de ferro, pode ser observado que, de uma maneira geral, para todos os perfis obtidos, os valores estimados para as razões de resistência liquefeitas calculadas a partir da metodologia de Olson (2001) e Sadrekarimi (2014) são menores se comparados aos valores obtidos a partir da metodologia proposta por Robertson (2010) e Jefferies e Been (2016), o que pode ser afirmado que, neste caso, as duas primeiras metodologias foram mais conservadoras que as duas últimas. Além disso, a tendência de comportamento da distribuição das razões de resistência liquefeita é semelhante entre as metodologias de Olson (2001) e Sadrekarimi (2014), assim como a tendência de comportamento apresentada pelas metodologias de Robertson (2010) e Jefferies e Been (2016) também foram semelhantes. Esse desempenho pode ser explicado pela variável utilizada por cada correlação para estimar a razão de resistência liquefeita e os critérios adotados por cada autor.

Considerando a análise comparativa feita entre os valores calculados e os limites inferiores e superiores de razão de resistência liquefeita levantados na literatura para o mesmo tipo de rejeito, verificou-se que os valores máximos estimados para as razões de resistência liquefeita a partir das correlações de Olson (2001) e Sadrekarimi (2014) e os valores médios estimados por Robertson (2010) e Jefferies e Been (2016) se enquadram nestes limites estabelecidos pelos valores de referência obtidos da literatura. Ressalta-se que os valores levantados pela pesquisa bibliográfica podem estar superestimados, pois a obtenção dos parâmetros de resistência pode ter sido realizada por outro método estatístico, como por exemplo, pelo percentil da frequência da amostra. Dessa forma, após a análise dos resultados e observação da tendência dos gráficos comparativos, sugere-se que, para um anteprojeto cujo material seja semelhante ao estudado nesse trabalho, seja adotado um parâmetro de resistência não-drenada liquefeita igual a 0,04, que foi próximo ao menor valor levantado na literatura e também próximo do menor valor calculado à partir dos resultados obtidos dos ensaios realizados e uso das quatro metodologias a eles aplicadas.

## Referências

- ARAUJO, C.B. (2006) Contribuição ao estudo do comportamento de barragens de rejeito de mineração de ferro. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação de Engenharia, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 133 p.
- FEAR, C.E. & ROBERTSON, P.K. (1995). Estimating the undrained strength of sand: a theoretical framework. *Canadian Geotechnical Journal*, 32(4), 859-870.
- FERREIRA, D. B. (2018). Liquefação de Rejeitos de Minério de Ferro - Estudo de caso: Sistema Pontal em Itabira/MG, Universidade Federal de Ouro Preto. Dissertação de Mestrado, Ouro Preto, p. 130.
- FERREIRA, D. B.; Gomes, R. C. (2016) Determinação da Resistencia ao Cisalhamento de Solos Liquefeitos. *Anais do XVIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica*, Belo Horizonte, MG, 8p.
- IDRISS, I. M. E BOULANGER, R. W. (2007). SPT- and CPT-based relationships for residual shear strength of liquefied soils, *Proc., 4th Int. Conf. On Earthquake Geotechnical Engineering*, K. D. Pitilakis, ed., Springer, New York, p. 1-22.

- IDRISS, I. M., & BOULANGER, R. W. (2008). Soil Liquefaction during Earthquakes. Monografia apresentada ao Earthquake Engineering Research Institute, MNO-12 237p.
- JEFFERIES, M.G. & BEEN, K. (2016). Soil Liquefaction: a critical state approach. CRC Press. Taylor & Francis Group. Boca Raton, Florida, 713p.
- MUHAMMAD, K. (2012). Case history-based analysis of liquefaction insloping ground. Ph.D. thesis, Univ. of Illinois at Urbana–Champaign, Urbana, IL.
- OLIVEIRA, R.P. (2020). Estudo comparativo da estimativa da resistência não-drenada lique- feita a partir de correlações propostas para ensaios de campo de CPTu. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós- Graduação em Engenharia civil, Departamento de Engenha- ria Civil, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG, 120p.
- OLSON, S. M., AND STARK, T. D. (2002). Liquefied strength ratio from liquefaction flow failure case histo- ries." Canadian. Geotechnical Journal, 629–647.
- OLSON, S.M. (2001). Liquefaction analysis of level and sloping ground using Field case histories and pene- tration resistance. Ph.D. thesis, University of Illinois at Urbana–Champaign, Urbana, Ill.
- PIRETE, W. (2010). Estudo do potencial de liquefação estática de uma barragem de rejeito alteada para montante aplicando a Metodologia de Olson (2001). Dissertação de Mestrado, Mestrado Profissional em En- genharia Geotécnica, Universidade Federal de Ouro Preto, UFOP, Ouro Preto, MG, 120 p.
- ROBERTSON, P. K. ET AL. (2019). Relatório do Painel de Especialistas Sobre as Causas Técnicas do Rom- pimento da Barragem I do Córrego do Feijão. 88p. Disponível em: < <http://www.b1technicalinvestigation.com/pt>> Acesso em 25 de julho de 2021.
- ROBERTSON, P.K. (2016). Cone penetration test (CPT)-based soil behaviour type (SBT) classification sys- tem – an update. Gregg Drilling & Testing, Inc. Site Investigation Services, Canadian Geotechnical Journal. V. 53, n.12.
- ROBERTSON, P.K. (2010). Evaluation of flow liquefaction and liquefied strength using the cone penetration test. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 136(6), 842–853.
- SADREKARIMI, A. (2014). Effect of the Mode of Shear on Static Liquefaction Analysis. Journal of Geotech- nical and Geoenvironmental Engineering. v. 140. n. 12. P. 2.100-2.119.
- SILVA, W. P. DA. (2010) Estudo do Potencial da Liquefação Estática de uma Barragem de Rejeito Alteada para Montante Aplicando a Metodologia de Olson. (2001). Dissertação de Mestrado, Nugeo, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 141p.
- SOUZA, G. M.; GOMES, R. C. (2020). Obtaining geotechnical parameters from correlations between geo- physucs and CPT tests in tailings dams. Advanced Engineering and Technology III, v. 73, n. 4, p. 11–114.
- Relatório de Análise de Acidente de trabalho- Rompimento da Barragem B1 da Vale S.A. em Brumadinho- MG em 25/01/2019. Disponível em < [https://sinait.org.br/docs/305346580-relatorio\\_bi\\_-\\_a\\_corpo\\_assi- nado.pdf](https://sinait.org.br/docs/305346580-relatorio_bi_-_a_corpo_assi- nado.pdf)> Acesso em 26 de julho de 2021.

# CAPÍTULO 9

## **CENÁRIO DAS PUBLICAÇÕES CIENTÍFICAS SOBRE REMOÇÃO DOS TRIHALOMETANOS COM BIOCOAGULANTES NO TRATAMENTO DE ÁGUA**

*LANDSCAPE OF SCIENTIFIC PUBLICATIONS ON TRIHALOMETHANES  
REMOVAL WITH BIOCOAGULANTS IN WATER TREATMENT*

**Vitor Marcos Lima dos Santos  
Lucas David Enoque Angelo da Silva  
Miriam Cleide Cavalcanti de Amorim**

## Resumo

**O** bjetivou-se realizar uma busca de anterioridades com foco em artigos científicos, relacionados ao uso de biocoagulantes na remoção de trihalometanos no tratamento de água para consumo humano. Através de um levantamento nas bases Web Of Science, ScienceDirect e Scopus, no período de 2001 a 2020. Os resultados revelaram um número crescente de trabalhos, principalmente de 2016 a 2019. Todavia, o número de trabalhos identificados foi baixo, sendo o Brasil o país com maior número de registros.

**Palavras-chave:** Coagulante Natural, Desinfecção, THM.

## Abstract

**T**he objective of this study was to perform a prior art search focused on scientific articles related to the use of biocoagulants in the removal of trihalomethanes in the treatment of water for human consumption. Through a survey in the Web Of Science, ScienceDirect and Scopus databases, in the period from 2001 to 2020. The results revealed an increasing number of papers, mainly from 2016 to 2019. However, the number of papers identified was low, with Brazil being the country with the highest number of records.

**Keywords:** Natural Coagulant, Disinfection, THM.

## 1. INTRODUÇÃO

Em muitos países o cloro é utilizado nas estações de tratamento de água (ETA) em suas diversas formas, como pré-oxidante e desinfetante, devido a eficiência do processo de cloração na destruição de vírus e bactérias nocivas, e o seu baixo custo (Oliveira et al., 2020). Contudo, uma característica importante da desinfecção química com o cloro é a necessidade de controlar o potencial de produção de subprodutos da desinfecção (SPDs), como os trihalometanos (THMs), produzidos a partir de reações entre o desinfetante e outras substâncias presentes na água.

Os THMs são compostos formados a partir da reação do cloro residual e a matéria orgânica natural (MON), como os ácidos húmicos ou fúlvicos (Meyer, 1994), sendo a classe dominante em massa de subprodutos da desinfecção halogenados. Segundo Li et al. (2021) é um desafio poder compreender e prever a formação de SPDs, como os THMs, sob a variedade de condições de uma estação de tratamento, pois esta é influenciada não apenas pela MON, mas também por parâmetros de qualidade da água e operacionais da ETA.

Muitos são os estudos epidemiológicos e toxicológicos que investigam a correlação entre a cloração da água e a mortalidade por câncer, e os efeitos decorrentes da exposição humana aos THMs, promovendo amplas discussões sobre legislações em diversos países (Badaró et al., 2021). Zainundi et al. (2018) destacam que os THMs, são compostos identificados como mutagênicos genotóxicos, e que apresentam potencial tóxico para os humanos e a vida aquática.

Os níveis de THMs podem ser reduzidos através do uso de outros agentes desinfetantes, ou da remoção de materiais precursores antes da adição do cloro e remoção dos THMs após sua formação. Todavia, observa-se o crescente número de tecnologias emergentes, como novos coagulantes, e reformulação de técnicas já existentes, visando a remoção efetiva dos THMs e seus precursores.

O uso de compostos químicos na coagulação é uma prática difundida e utilizada nas ETA, porém o emprego de coagulantes naturais surgiu como uma alternativa sustentável e ecologicamente correta a estes produtos, pois apesar do desempenho e custo-benefício, os seus resíduos na água tratada estão associados a doenças neurodegenerativas, neurotóxicas e efeitos cancerígenos (Camacho et al., 2017). Segundo Soares et al. (2021) os biocoagulantes, quando comparados aos coagulantes químicos, demonstram maior eficiência, em termos de cor aparente e turbidez, e benefícios como a otimização do processo de tratamento e redução nos custos, além de apresentarem elevada biodegradabilidade, sendo uma alternativa economicamente viável e ambientalmente sustentável.

Entretanto, dentro do contexto de inovações e tecnologias, evidencia-se a necessidade de estudos que avaliem biocoagulantes, que apresentem no tratamento de água desempenho similar aos químicos, avaliando principalmente o seu efeito na minimização ou erradicação dos THMs na água.

Portanto, o presente trabalho objetivou realizar uma busca de anterioridades com

foco em artigos científicos, a fim de analisar e compreender o cenário dos estudos a respeito da remoção de trihalometanos com uso de biocoagulantes no tratamento de água, e, assim informar e promover entre pesquisadores uma discussão e apoio às tomadas decisivas quanto a exploração deste campo de pesquisa.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento da busca de anterioridades para o referente estudo, baseou-se em uma série de etapas, consistindo-a na primeira, a escolha das bases de dados sendo selecionadas a Web of Science (WOS), Scopus e ScienceDirect, estas foram escolhidas por serem bases que abrangem várias áreas do conhecimento e são mundialmente conhecidas.

A segunda etapa baseou-se na escolha das palavras-chave, na qual em primeiro momento foram realizadas diversas pesquisas que envolveram cerca de 39 combinações de palavras relacionadas ao objeto de estudo, com o intuito de auxiliar na tomada de decisão das palavras a serem utilizadas. Logo, foram escolhidas as palavras-chave a serem usadas nas pesquisas, sendo elas: "Bio coagulant", "Coagulant natural", "Matter organic natural", "Removal", "Trihalomethane". Como as bases de dados selecionadas possuem âmbito internacional, as palavras-chave precisam ser no idioma inglês, além de usados para busca o operador booleano "AND", como forma de contribuir na combinação lógica da busca para melhor assertividade dos resultados.

Na terceira etapa foram realizadas as buscas nas bases com as quatro combinações escolhidas: "Removal\* AND Trihalomethane\*", "Removal\* AND Trihalomethane\* AND (Bio AND Coagulant\*)", "Removal\* AND Trihalomethane\* AND (Coagulant\* AND natural\*)", "Removal\* AND Trihalomethane\* AND (matter AND organic AND natural)". A busca ocorreu em tópicos e com limitação temporal de 2001 a 2020. Os filtros usados na WOS e Scopus foram tipo de documento - Article; e subárea de pesquisa - Engineering, Environmental Sciences Ecology, por se tratarem de duas temáticas relacionadas ao objeto de estudo. E os filtros utilizados na ScienceDirect foram tipo de documento - Article; e subárea de pesquisa - Engineering.

Na quarta etapa foi analisada na totalidade as publicações encontradas nas bases, sendo feita leitura de título, resumo e palavras-chave, na qual sendo feita exclusão das publicações que apresentaram temática destoante do objeto de estudo e duplicidade de artigos entre as bases. Por fim, na última etapa foi realizada leitura dos artigos por completo, sendo feita a última exclusão vista os artigos que não tenham como tema central o uso de bio coagulantes na remoção de trihalometanos.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados prospectados indicam que pesquisas envolvendo a remoção de trihalometanos têm apresentado grande destaque no cenário científico, sendo evidenciado pelo



elevado número de registros, presentes nas bases de dados analisadas, dando destaque a base ScienceDirect que retornou o maior número de trabalhos (Figura 1). Logo, demonstrando que existem e estão sendo desenvolvidas pesquisas, que visam reduzir a formação de THMs e eliminação de seus precursores, através do emprego de novas técnicas, mais efetivas e de menor custo como também afirmam Zainudin et al. (2020). No entanto para a combinação "Removal\* AND Trihalomethane\* AND (Coagulant\* AND natural\*)" o número de publicações é reduzido quando comparado à estratégia Removal\* AND Trihalomethane\*.

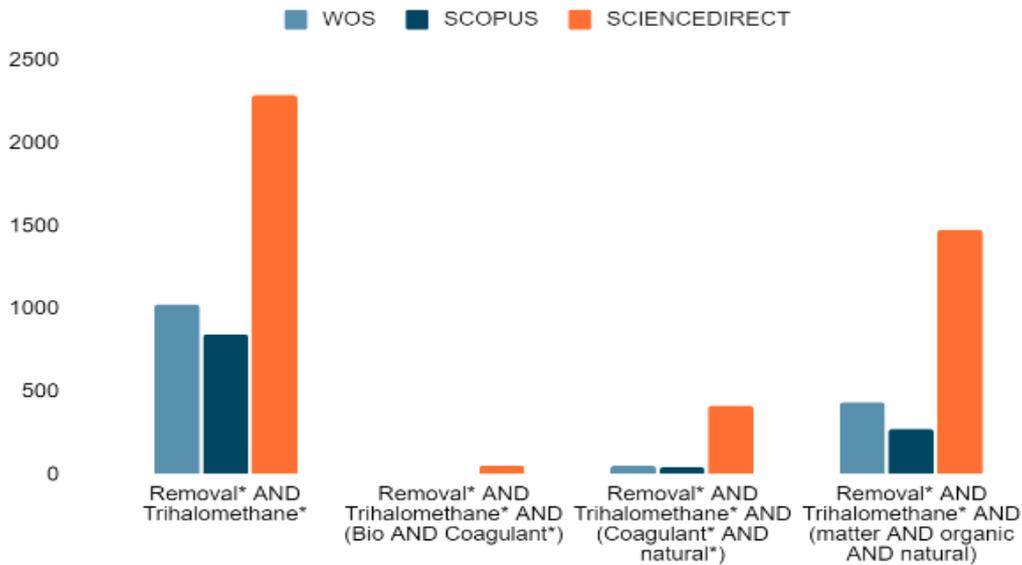


Figura 1 – Número de artigos por combinação de palavras chave.  
Fonte: Autores (2022)

A Figura 2 apresenta a distribuição temporal do número de trabalhos depositados nas bases, relacionados à temática de remoção de THMs. Observa-se um crescimento significativo na quantidade de artigos publicados anualmente, com o ápice no ano de 2020 com 380 registros. Destaca-se que os artigos publicados nos últimos cinco anos somam 1.683 trabalhos, representando 40,50% das publicações contidas nas bases analisadas.

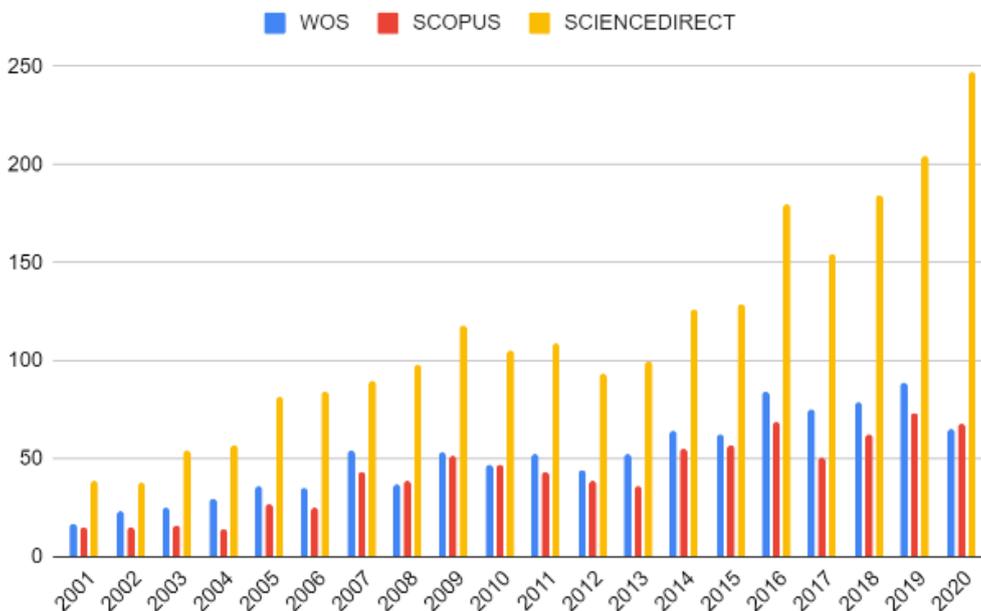


Figura 2 – Número de artigos por ano de publicação.  
Fonte: Autores (2022)

Neste cenário, a figura 3 expõe o número de artigos relacionados à remoção de THMs por país de origem, nas bases WOS e SCOPUS. Os países que mais publicaram artigos de 2001 a 2020 foram a China e os Estados Unidos da América. Destaca-se que a China, com 18,90% do total de registros, é o país com a maior quantidade de trabalhos, seguida dos Estados Unidos com 14,45%.

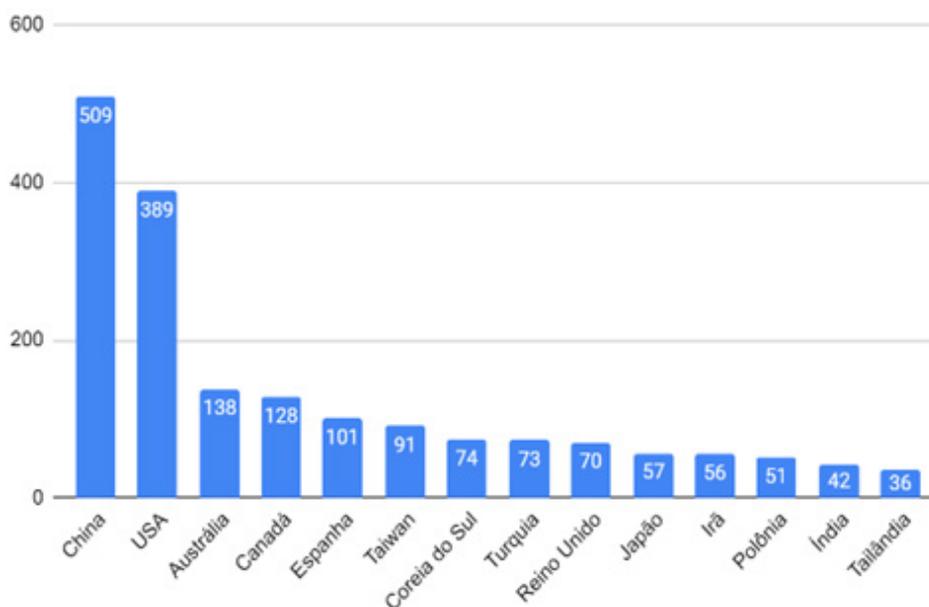


Figura 3 – Número de artigos por país de origem.

Fonte: Autores (2022)

O autor com maior número de publicações relacionadas a remoção de trihalometanos, nas bases WOS e Scopus, foi Tanjul Karanfil com 26 artigos (Figura 4), sendo 11 destes publicados no período de 2016 a 2020. O segundo autor com mais publicações é Simon A. Parsons com 18 registros e o terceiro, Quiangliang Zhao com 17 trabalhos. Contudo, considerando os artigos publicados pelos 10 autores com maior quantidade de registros, nas bases WOS e Scopus, destaca-se que nenhum deles publicaram trabalhos que utilizassem coagulantes naturais na remoção de THMs.

As pesquisas realizadas nas bases WOS, Scopus e ScienceDirect, retornaram um número total de 2.041 artigos, conforme Tabela 1, publicados no período de 2001 a 2020. Após a análise dos trabalhos encontrados, com base no título e resumo, descartou-se 1.939 artigos por não apresentarem estudos relacionados ao uso de biocoagulantes na remoção de THMs, pois abordavam principalmente o emprego de outras técnicas para a remoção.

A base de dados da Scopus, apresentou o maior número de trabalhos para as combinações pesquisadas, com um total de 847 artigos, dos quais 4 estavam relacionados efetivamente à temática, tendo o ano de 2016 com o maior número de publicações. A base da WOS exibiu 801 resultados, onde apenas 1 foi inerente ao tema pesquisado, emitido no ano de 2013. Salienta-se que os trabalhos não considerados empregavam em sua maioria coagulantes químicos para a remoção de trihalometanos, e o uso de substâncias naturais como biofloculantes.

<b>Palavras-chave</b>	<b>WOS</b>	<b>Scopus</b>	<b>ScienceDirect</b>	<b>Total</b>
Removal* AND Trihalomethane*	533	759	189	1.481
Removal* AND Trihalomethane* AND (Bio AND Coagulant*)	3	2	7	12
Removal* AND Trihalomethane* AND (Coagulant* AND natural*)	31	44	55	130
Removal* AND Trihalomethane* AND (matter AND organic AND natural)	234	42	142	418
<b>Total</b>	<b>801</b>	<b>847</b>	<b>393</b>	<b>2.041</b>

Tabela 1 - Resultados após a aplicação dos filtros.  
Fonte: Autores (2022)

<b>Palavras-chave</b>	<b>WOS</b>	<b>Scopus</b>	<b>ScienceDirect</b>	<b>Total</b>
Removal* AND Trihalomethane*	1	4	0	5
Removal* AND Trihalomethane* AND (Bio AND Coagulant*)	0	0	0	0
Removal* AND Trihalomethane* AND (Coagulant* AND natural*)	0	0	0	0
Removal* AND Trihalomethane* AND (matter AND organic AND natural)	0	0	2	2
<b>Total</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>7</b>

Tabela 2 - Resultados após a análise do artigo e exclusão.  
Fonte: Autores (2022)

A base da ScienceDirect exibiu o menor número de trabalhos, apresentando 393 resultados, e destes, apenas 2 possuíam relação com o uso de coagulantes naturais para a remoção de THMs, sendo estes publicados nos anos de 2015 e 2019. Embora tenha apresentado o menor número de trabalhos, a ScienceDirect dispõe o texto completo do artigo, permitindo conhecimento mais amplo sobre os temas. Destaca-se que o país que mais publicou artigos na ScienceDirect, relacionados ao tema pesquisado, dentre os trabalhos identificados, foi o Brasil com 3 publicações, indicando oportunidades de estudos científicos e inovações tecnológicas a partir do uso de biocoagulantes para remoção de trihalometanos da água para consumo humano.

## 4. CONCLUSÃO

O cenário posto pela busca de anterioridade embora tenha evidenciado a existência de trabalhos similares à proposta deste estudo, demonstrou que a estratégia que visa publicações específicas com uso de biocoagulantes foi inferior as demais estratégias, considerando o número de artigos retornados. Os dez autores que mais publicaram sobre remoção de trihalometanos, não abordaram biocoagulantes, evidenciando assim, que estudos com o uso de biocoagulantes para remoção de THMs, é um campo de pesquisa ainda a ser explorado pelos pesquisadores.

Observou-se a crescente no número de trabalhos publicados no setor, no período de 2016 a 2020, visando a implementação de novas técnicas e reestruturação de tecnologias já existentes para a remoção de trihalometanos. O Brasil destacou-se em número de publicações que versam sobre uso de coagulantes naturais para a remoção de THMs na base que exhibe trabalhos completos. Com esses resultados espera-se estimular novas pesquisas sobre remoção de trihalometanos entre os pesquisadores brasileiros, tendo em vista o cenário próspero apresentado no presente estudo, evidenciado através do número de trabalhos retornados.

Contudo, a pesquisa pode ser ainda mais aprimorada, tendo em vista que as análises foram aplicadas em quatro amostras adquiridas em três bases de dados. Dentro desse contexto, para trabalhos futuros é recomenda-se consultar um maior número de bases de dados e estender as pesquisas com a utilização de novas palavras-chaves.

## 5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao PET-MEC e o FNDE pelo apoio e incentivo.

## Referências

- BADARÓ, J. P. M. et al. Multivariate analysis of the distribution and formation of trihalomethanes in treated water for human consumption. **Food Chemistry**, vol. 365, 2020, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130469>.
- CAMACHO, F. P. et al. The use of Moringa oleifera as a natural coagulant in surface water treatment. **Chemical Engineering Journal**, vol. 313, 2017, p. 226-237, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.12.03>.
- DOBARADARAN, S. et al. Age-sex specific and cause-specific health risk and burden of disease induced by exposure to trihalomethanes (THMs) and haloacetic acids (HAAs) from drinking water: An assessment in four urban communities of Bushehr Province, Iran, 2017. **Environmental Research**, vol. 182, 2020, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.109062>.
- LI, R. A. et al. A multivariate Bayesian network analysis of water quality factors influencing trihalomethanes formation in drinking water distribution systems. **Water Research**, vol. 190, 2021, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116712>.
- MEYER, S. T. O uso de cloro na desinfecção de águas, a formação de trihalometanos e os riscos potenciais à saúde pública. **Cadernos de Saúde Pública**, 1994, v. 10, n. 1, pp. 99-110. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-311X1994000100011>.
- OLIVEIRA, R. R. et al. Estudo do potencial de formação de trihalometanos na lagoa de Extremoz (RN). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 25, n.2, 2020, DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522020181889>.
- SOARES, E. J. S. et al. Potencial de vegetais para produção de coagulantes visando aplicação no tratamento de água: revisão sistemática. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.12, n.2, p.292-302, 2021. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.002.0027>.
- ZAINUDIN, F. M. et al. An overview of the technology used to remove trihalomethane (THM), trihalomethane precursors, and trihalomethane formation potential (THMFP) from water and wastewater. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, vol. 57, 2018, p. 1-14, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2017.08.022>.

# CAPÍTULO 10

## **ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DE PARÂMETROS REOLÓGICOS NO ALCANCE DE UMA RUPTURA HIPOTÉTICA DE BARRAGEM**

*SENSITIVITY ANALYSIS OF RHEOLOGICAL PARAMETERS IN THE  
RANGE OF A HYPOTHETICAL DAM FAILURE*

**Luciene Oliveira Menezes**

**Rose Carvalho Rocha Elias**

**Clemilson Wagner de Sousa Martins**

**Rafael Freitas Rodrigues**

**Michel Moreira Morandini Fontes**

## Resumo

Com as recentes rupturas de barragens de rejeito no Brasil, as exigências normativas sofreram alterações, e o estudo de *Dam Break* é exigido para todas as barragens com pelo menos uma das seguintes características: altura do maciço maior ou igual a 15 metros; capacidade do reservatório maior ou igual a 3.000.000 m<sup>3</sup>; reservatório com resíduos perigosos e categoria de dano potencial associado médio ou alto. Neste contexto, é de importância conhecer as características físicas dos rejeitos e os parâmetros reológicos, bem como a influência destes dados no modelo de previsão de alcance de rupturas. As etapas metodológicas propostas contemplam ensaios físicos e reológicos no rejeito, análises dinâmicas com a utilização do programa DAN-W versão 10, modelo reológico de Bingham, variando a viscosidade e tensão de escoamento para diferentes valores de concentração volumétrica de sedimentos. Os alcances de ruptura obtidos foram comparados com o alcance encontrado para a ruptura hipotética de uma barragem pelo HEC-RAS. Os resultados obtidos nas análises dinâmicas são apresentados e analisados de forma a conhecer a relevância das variações das concentrações de sedimentos em uma barragem na previsão de ruptura e alcance.

**Palavras-chave:** Riscos em barragens, modelos dinâmicos, dam break.

## Abstract

After de recent dams breaks in Brazil, the normative requirements have change, and the dam break study is now required for dams that fall under one of the following characteristics: height of the mass greater than or equal to 15 meters; total reservoir capacity greater than or equal to 3,000,000 m<sup>3</sup>; reservoir containing hazardous waste and category of associated potential damage medium or high. That exposed, it is important to know the physical characteristics of the tailings and the rheological parameters, as well as the influence of this data in rupture reach prediction model. The methodological steps adopted include physical and rheological tests on tailings, dynamic analysis using the program DAN-W version 10, Bingham rheological model alternating the viscosity and yield stress to different values of volumetric concentration of sediments. The rupture reaches obtained were compared with the reach found for the hypothetical rupture of a dam by HEC-RAS. The results obtained by dynamic analyzes are presented and analyzed in order to know the relevance of the variations in the volumetric concentration by weight of sediments in a dam in the forecast of rupture and reach.

**Keywords:** Dams Risks, dynamic models, dam break.

## 1. INTRODUÇÃO

Ao analisar a problemática de rupturas de barragens de rejeito, Melo (2013) cita três grandes questões que são elaboradas: 1) Caso algum modo de falha se estabeleça e provoque a abertura de uma brecha, o rejeito confinado no reservatório irá escoar e em que proporção para as áreas a jusante? 2) Se for instaurado o fenômeno de liquefação, qual o percentual da massa armazenada no reservatório irá de fato escoar pela brecha? 3) Durante o escoamento dos rejeitos, qual será o sistema dinâmico que melhor representará o comportamento dos fluidos? Essas três questões são importantes de serem investigadas, a fim de fomentar o desenvolvimento do conhecimento após a ruptura e atuar preventivamente na segurança de barragens.

Em relação à terceira questão, após identificar o modelo dinâmico que melhor se aplica ao escoamento dos rejeitos, pode-se também perguntar quais os parâmetros reológicos e características físicas do rejeito devem ser conhecidos para aplicação do modelo de previsão de inundação, e como obtê-los. Os parâmetros reológicos são comumente obtidos por meio de retroanálises de rupturas conhecidas, adoção de valores sugeridos por autores em manuais de programas de computador, ou por meio de análises de sensibilidade. A obtenção dos parâmetros pela realização de ensaios é ainda incipiente em nosso país.

Em novembro de 2012, durante o Seminário “Gestão de Riscos e Segurança de Barragens de Rejeitos”, a apresentação da experiência brasileira em estudos de ruptura de barragens de rejeitos frustrou os proprietários de barragens que manifestaram, na ocasião, demandas legítimas por estudos de ruptura que considerassem as características reológicas dos escoamentos de rejeitos (Melo, 2013). Os ensaios para determinar os parâmetros reológicos em laboratório não eram corriqueiros em rejeitos de mineração, e observava-se ausência de referências bibliográficas locais com resultados destas investigações. Atualmente o cenário é um pouco diferente, com maior número de pesquisas e estudos publicados, mas ainda não numerosos no Brasil, motivados em parte pelos acidentes recentes e por exigências normativas como a necessidade do estudo de *Dam Break* (ruptura hipotética) em situações específicas definidas em Brasil (2017).

Este artigo objetiva apresentar a realização de ensaios de laboratório para determinar parâmetros físicos e reológicos de rejeitos de mineração, como a viscosidade dinâmica e tensão de escoamento, bem como correlacioná-los com a concentração volumétrica dos materiais ensaiados. Os resultados dos ensaios serão ponto de partida para as análises de sensibilidade e previsão de mancha de inundação. O alcance da ruptura hipotética será analisado em dois programas computacionais diferentes: o HEC-RAS e DAN-W.

### 1.2 Área de Estudo

A barragem em estudo, denominada Barragem do Bandeira, localiza-se no estado do Pará e tem função de disposição de rejeitos de manganês provenientes da planta de beneficiamento da mina, além da clarificação do efluente final. Foi construída em etapa

única em região de relevo com considerável grau de dissecação, formas côncavo-conexas, bem como encostas com declividade moderada, cobertas por pedimentos coluvionares. Seu maciço apresenta 15 metros de altura contado do ponto mais baixo da fundação e 190 metros de extensão, com inclinação de taludes de jusante 2,2H:1V e montante 1,9H:1V. O material de aterro é composto por textura argilo-siltosa a areno-siltosa com areia fina e pedregulhos finos a grossos de quartzo, óxido de manganês e de xisto alterado, cor variegada, consistência média (S3) e baixa permeabilidade, conforme ensaios de compactação e ensaios de sondagem SPT realizados no local. A Figura 1 apresenta a localização da barragem no mapa.

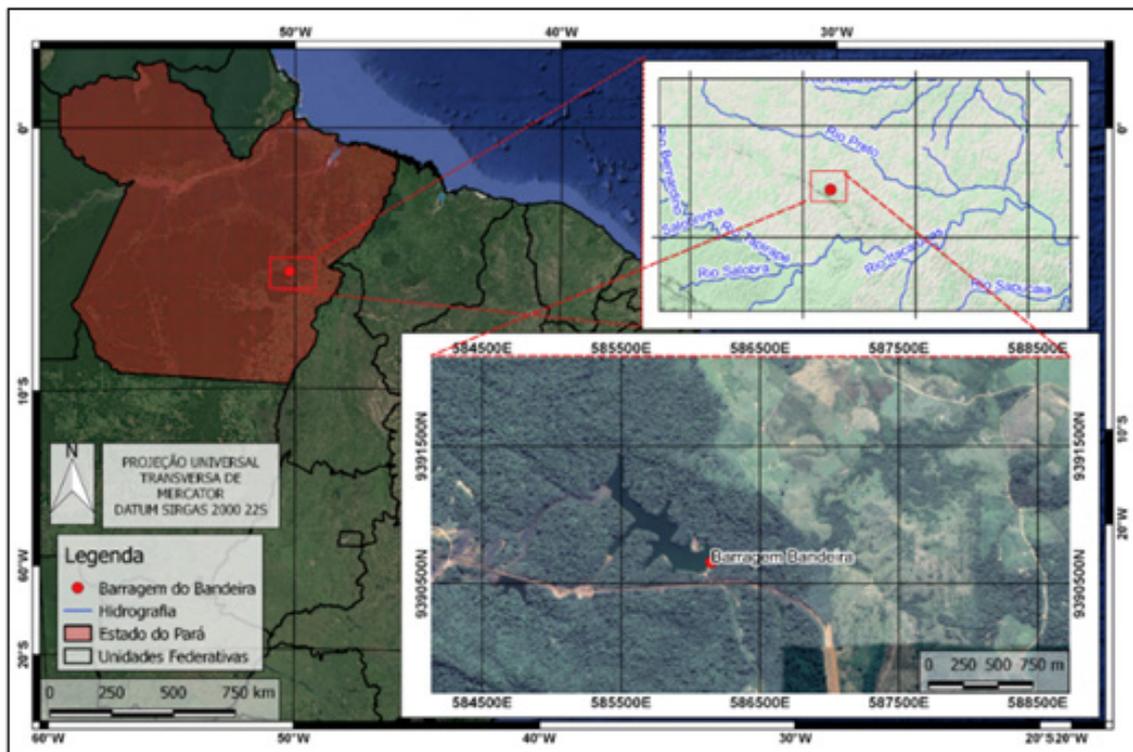


Figura 1. Localização da barragem em estudo.

## 2. METODOLOGIA

As seguintes etapas metodológicas foram adotadas: 1) Revisão bibliográfica visando obter referências técnicas nacionais e internacionais atualizadas; 2) Amostragem do rejeito para ensaios físicos e reológicos; 3) Realização dos ensaios de caracterização geotécnica dos materiais; 4) Ensaios reológicos com o reômetro ReolabQC para determinar a viscosidade dinâmica e tensão de escoamento; 5) Correlacionar graficamente a viscosidade dinâmica e a tensão de escoamento com a concentração de sedimentos; 6) Modelagem de ruptura hipotética de barragem e análises de sensibilidade a partir dos resultados dos ensaios, por meio do programa DAN-W e HEC-RAS; 7) Comparação dos resultados obtidos para o alcance de inundação com os dois programas e com a utilização dos resultados de ensaios *versus* alcance de inundação por meio de parâmetros ensaiados.

Para obter os parâmetros físicos do rejeito os seguintes ensaios são necessários: massa específica dos grãos; massa específica do rejeito em seu estado natural; teor de umidade; granulometria completa e limites de consistência. Os parâmetros reológicos, tensão de escoamento inicial (*yield stress*) e a viscosidade dinâmica (*dynamic viscosity*),

são obtidos por meio do reômetro ReolabQC, apresentado na Figura 2.



Figura 2. Reômetro ReolabQC (Foto de acervo pessoal).

Após definição dos dados de entrada, as simulações computacionais da provável mancha de inundação da barragem em estudo utilizam o modelo dinâmico para base dos cálculos, uma vez que o rejeito irá se comportar como fluido, com movimento de massa tipo escoamento ou corrida de lama. As análises comparativas realizadas levam em conta os resultados de dois *softwares* descritos a seguir.

O *software* DAN-W versão 10 - *Dynamic Analysis of Landslides* (Hung, 2010 e Hung, 1995) foi desenvolvido pelo Prof. Oldrich Hung e equipe, na University of British Columbia no Canadá, e consiste em um software desenvolvido para análise de escoamentos cuja modelagem se baseia na mecânica do contínuo (solução Lagrangeana para a equação de movimento) associado a equações constitutivas para definição de parâmetros reológicos, cujas propriedades variam em função do percurso da massa mobilizada (alcance, velocidade e condição topográfica). O programa realiza análises bidimensionais (2D) ou tridimensionais (3D) baseados em uma abordagem semi-empírica. Para a pesquisa em questão foram utilizadas análises bidimensionais.

De posse da geometria do perfil de análise, é definido o modelo reológico e o programa é alimentado por parâmetros de entrada e posterior definição do alcance da corrida de massa. A definição das forças atuantes é governada pela equação do equilíbrio juntamente com a equação constitutiva reológica, no qual o software disponibiliza oito alternativas reológicas com suas respectivas formulações.

Será realizado um comparativo simplificado do alcance obtido no DAN-W com o HEC-RAS 5.0.3 (Hydrologic Engineers Corps – River Analysis System), disponibilizado pelo USACE – United States Army Corps of Engineers. O modelo desenvolvido pelo software é baseado nas equações de escoamento de Saint-Venant, podendo ser adotados regimes permanentes ou não permanentes.

### 3. RESULTADOS E ANÁLISES

Os resultados obtidos nas análises de sensibilidade dinâmicas serão apresentados e analisados em termos de influência da variação da concentração de sedimentos na viscosidade e tensão de escoamento, e conseqüentemente no alcance da ruptura pelo programa DAN-W, com a utilização do modelo de Bingham.

#### 3.1 Ensaios físicos

Estes ensaios têm o objetivo de caracterizar o rejeito de forma a subsidiar a definição de parâmetros para análises de sensibilidade no software DAN-W. Foram realizados ensaios de caracterização granulométrica, massa específica, umidade natural e limites de consistência segundo os critérios recomendados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Os resultados são apresentados a seguir na Tabela 1.

Tabela 1. Resultados dos ensaios físicos.

Amostra	FRAÇÕES							Classificação granulométrica	Massa específica dos grãos $\gamma_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	Limites de consistência			Teor de umidade (%)
	Argila	Silte	Areia (%)				Pedregulho			LL (%)	LP (%)	IP (%)	
	(%)	(%)	Fina	Média	Grossa	Total	(%)						
Rejeito	20,4	29,8	18,6	14,7	7,3	40,6	9,2	Areia siltosa com argila	3,283	40	22	18	4,59

#### 3.2 Ensaios Reológicos

Foram realizados ensaios reológicos com a utilização do reômetro rotacional Reolab-QC, em diferentes concentrações volumétricas, em duas campanhas investigativas. Apresenta-se na Figura 3 os gráficos dos resultados das duas campanhas.

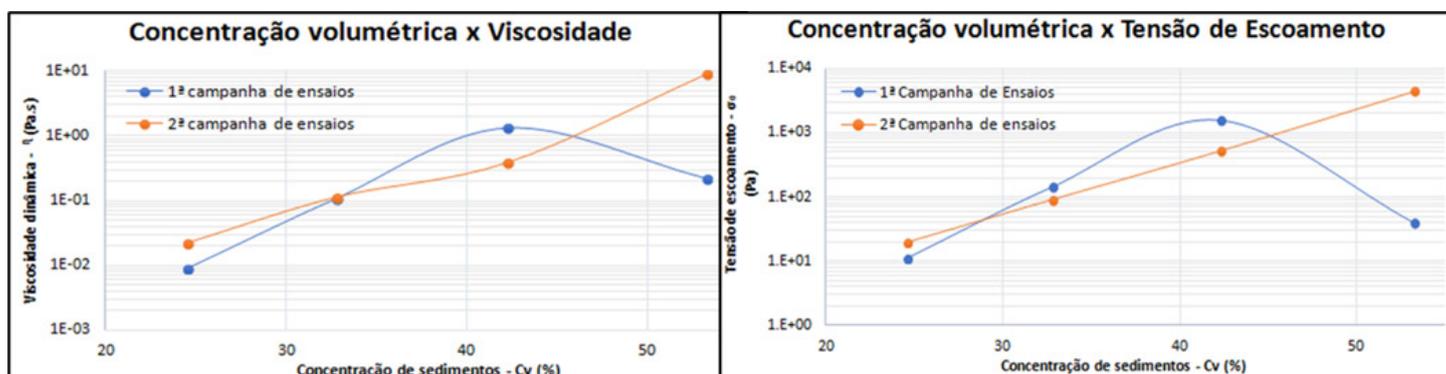


Figura 3. Resultados de ensaios reológicos.

A concentração de sedimentos volumétrica foi definida entre 25% e 53%, de forma a ter um espectro de variação entre materiais sujeitos a escoamentos e corridas de lama, conforme O'Brien & Julien (1984). Os valores da viscosidade e tensão de escoamento ficaram próximos para as duas campanhas, com exceção do ensaio com maior Cv. A viscosidade variou na 1ª campanha de 0,008874 Pa.s até 1,3024 Pa.s; e a tensão de

escoamento de 11,124 Pa até 1542,9 Pa. Para a 2ª campanha, a viscosidade variou de 0.021771 Pa.s até 8.9545 Pa.s; e a tensão de escoamento variou de 19.281 Pa até 4330.8 Pa. Observa-se que é uma ampla faixa de variação, o que motivou a investigação do impacto desta variação no alcance de ruptura.

Um ponto de atenção é o resultado do ensaio da 1ª campanha com  $C_v=53\%$ . Devido aos teores elevados de sólidos, a geometria rotacional expeliu parte do rejeito do recipiente, e portanto a viscosidade e tensão de escoamento tiveram seus valores diminuídos. Outro ponto de atenção na realização dos ensaios foi a possível formação de superfícies de deslizamentos entre a geometria (paleta giratória) e o rejeito, ocasionando desta forma resultados inconsistentes. Nestas ocorrências, o ensaio foi repetido.

### 3.3 Análises de sensibilidade

A definição do volume da brecha de ruptura da barragem não é escopo deste artigo. Mas para possibilitar uma comparação qualitativa com o estudo de Dam Break já realizado para a Barragem do Bandeira pelo programa HEC-RAS, adotou-se como premissa para a seção de análise no DAN-W que a mesma tenha um volume mobilizado para a ruptura de 35% do reservatório, incluindo a barragem, rejeito e água sobrenadante. O desenho da seção considerada está apresentado na Figura 4.

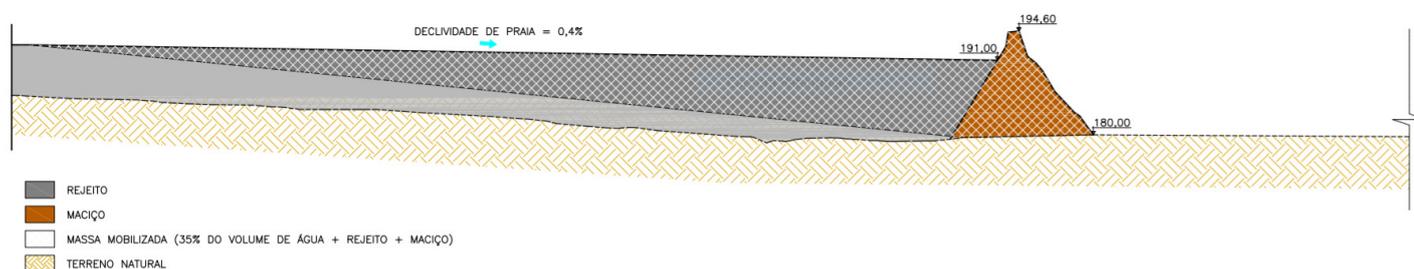


Figura 4. Seção para análise dinâmica de sensibilidade.

Conforme apresentado na Figura 7, a Barragem do Bandeira possui altura de 14,6 m. A cota de topo do rejeito no reservatório é 191m. A definição da massa a ser mobilizada na ruptura e previsão de alcance está indicada na Figura 7 e corresponde a 35% do reservatório. De forma simplificada adotou-se esta metodologia para ser condizente com o volume mobilizado na ruptura pelo HEC-RAS todavia, ressalta-se que o volume previsto para brecha é um tema complexo e deve ser avaliado caso a caso, evitando simplificações que não representam a condição da estrutura. Queiroga (2015) apresenta uma revisão bibliográfica de metodologias adequados para este fim, e as discussões e incertezas inerentes ao tema.

As análises dinâmicas no programa DAN-W foram realizadas para cada concentração de sedimentos, variando a viscosidade e tensão de escoamento conforme o resultado obtido no ensaio reológico. Foi determinado um tempo de corte para contabilização do alcance. Como o objetivo do artigo não é apresentar um estudo de Dam Break, mas sim avaliar o impacto das variações dos parâmetros reológicos do rejeito no alcance de ruptura, optou-se por medir o alcance após 3 minutos de análise dinâmica pelo programa. Na Tabela 2 apresenta-se os resultados das análises de alcance.

Tabela 2. Resultados das análises dinâmicas de sensibilidade.

1ª campanha de ensaios				2ª campanha de ensaios			
Cv (%)	Viscosidade (Pa.s)	T escoamento (Pa)	Alcance (m)	Cv (%)	Viscosidade (Pa.s)	T escoamento (Pa)	Alcance (m)
25	0.01	11.1	105.5	25	0.02	19.28	105.82
33	0.11	143.0	105.1	33	0.11	89.96	105.37
42	1.30	1542.9	89.0	42	0.38	510.81	106.79
53	0.22	39.6	105.7	53	8.95	4330.80	65.35

Para concentrações de sedimentos entre 25% e 53%, e consecutivos parâmetros reológicos obtidos nos ensaios, observa-se o valor de alcance. Para a 1ª campanha, os alcances variaram de 89 m a 105,7 m. E para a 2ª campanha os alcances variaram de 65,35 m a 106,79 m. A média dos alcances da 1ª campanha é 101,3 m e para a 2ª campanha 95,8 m.

A partir destes resultados, pode-se concluir que a variação da concentração de sedimentos e os respectivos parâmetros reológicos do rejeito para estas condições, não impactaram significativamente no valor do alcance.

Ressalta-se que variáveis externas como a declividade, rugosidade do vale a jusante, geomorfologia e características da barragem como baixa altura e área do reservatório considerável impactaram no resultado do alcance. Para barragens em condições diferentes da aqui apresentada, o resultado da variação de Cv no alcance pode ser potencialmente diferente.

### 3.4 Análise comparativa

A mancha de inundação hipotética modelada pelo HEC-RAS possui um alcance de 20km à jusante da estrutura em análise. A partir dessa, são definidas seções ao longo da mancha (SXX) a fim de se avaliar características inerentes da propagação da onda de rompimento ao longo do seu percurso, como, por exemplo, profundidade, velocidade de escoamento, risco hidrodinâmico, entre outros. Os resultados obtidos para a mancha de inundação são apresentados na 5 e os parâmetros analisados na Tabela 3.

Os resultados da simulação foram extraídos da modelagem hidráulica desenvolvida no HEC-RAS, através de seções transversais a cada 2km de modo a representar pontos específicos no decorrer do talvegue a jusante. Para fins de comparação com os resultados do DAN-W, determinou-se qual foi o alcance previsto pelo HEC-RAS para o tempo de 3 minutos após a ruptura hipotética. Neste tempo de corte, foi encontrado um alcance dos rejeitos de 87 m aproximadamente.



Figura 5. Mancha de Inundação obtida pelo HEC RAS.

Tabela 3. Resultados da simulação de propagação da onda de ruptura por seção.

Seção	Distância em relação a barragem do bandeira (km)	Tempo de chegada da onda (hh:mm)	Profundidade (m)	Velocidade (m/s)
S-01	0,0	00:00	1,86	2,35
S-02	2,0	00:36	2,84	1,17
S-03	4,0	01:05	4,62	0,93
S-04	6,0	01:36	5,56	0,76
S-05	8,0	02:51	4,03	0,55
S-06	10,0	04:27	1,67	0,78
S-07	12,0	05:55	1,33	0,54
S-08	14,0	08:28	0,69	0,06
S-09	16,0	14:52	0,52	0,06
S-10	18,0	62:34	0,51	0,01

O alcance médio encontrado pelo DAN-W, nas duas campanhas investigativas foi de 101,3 m e 95,8 m respectivamente. Resultado muito próximo do encontrado pelo HEC-RAS, com acréscimo de 10% a 17% respectivamente.

Os resultados encontrados para os alcances de ruptura hipotética com a utilização do modelo reológico de Bingham, e parâmetros reológicos obtidos nos ensaios, foram maiores que os encontrados com a utilização do modelo do HEC-RAS.

## 4. CONCLUSÕES

O presente artigo busca alinhamento com a Política Nacional de Segurança de Barragens por meio do aprimoramento e detalhamento dos estudos de *Dam Break*, especificamente em relação às incertezas associadas aos parâmetros reológicos e geotécnicos dos rejeitos e seus impactos na previsão de alcances de rupturas hipotéticas.

A faixa de variação dos parâmetros reológicos para diferentes concentrações de sedimentos é ampla, daí a proposta de realizar a análise de sensibilidade destes parâmetros para avaliação do impacto no alcance de uma ruptura hipotética de barragem.

Para a Barragem do Bandeira, a variação dos parâmetros reológicos na previsão do alcance foi pouco impactante, mas sugere-se o aprimoramento das técnicas de ensaios reológicos, a realização de análises de sensibilidade sempre adaptadas às condições de projeto, e por fim o fomento de pesquisas que possam aprimorar as metodologias existentes para fluxos complexos hiperconcentrados como são os rejeitos em escoamento após a ruptura da barragem.

O artigo teve como objetivo específico a utilização do modelo reológico de Bingham. Contudo, para cada análise de previsão de alcance de ruptura hipotética é importante avaliar qual modelo melhor se adequa às condições dos materiais depositados e da barragem, bem como quais ensaios físicos e reológicos devem ser realizados.

## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à empresa responsável pela Barragem do Bandeira por fornecer as informações necessárias para os estudos realizados e também à Fontes Geotécnica por todo o suporte prestado durante a elaboração do presente trabalho, em especial aos engenheiros do laboratório de solos Ronaldo Santos e Yuri Corrêa por todo apoio com os ensaios.

## Referências

BRASIL. *Portaria nº 70.389, de 17 de maio de 2017*. Cria o Cadastro Nacional de Barragens de Mineração, o Sistema Integrado de Gestão em Segurança de Barragens de Mineração e estabelece a periodicidade de execução ou atualização, a qualificação dos responsáveis técnicos, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Segurança da Barragem, das Inspeções de Segurança Regular e Especial, da Revisão Periódica de Segurança de Barragem e do Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração. Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM, Brasília, 2017.

Coussout, P., Laigle, D., Arattano, M., Deganutti, A.; Marchi, L. Direct Determination of Rheological Characteristics of Debris Flow. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, v. 124, n. 8, p. 865-868, Ago. 1998.

FLO-2D. *Pro, Reference Manual*. (2009). Disponível em <<http://www.flo-2d.com>>. Acesso em: 10.fev.2020.

Hungr, O. (1995) A model for the runout analysis of rapid flow slides, debris flows, and avalanches, *Canadian Geotechnical Journal*, n.32, p. 610-623.

Hungr, O. (1996). *Rock Avalanche runout prediction using a dynamic model*. *Landslides*, Senneset (ed), Balkema, Rotterdam.

Hungr, O. (2010). *Manual of DAN-W Release 10 – Dynamic Analysis of Landslides*. Disponível em <http://www.clara-w.com>. Acesso em 31.jan.2020.

Melo, L. P. R.(2013). Análise comparativa de metodologias de previsão de inundação decorrente da ruptura de barragens de rejeitos: caso hipotético da barragem de Tico-Tico. 2013. 199p. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental,



Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

Menezes, L. O. (2011). Previsão de alcances de rupturas de taludes de Belo Horizonte por meio de retroanálises: uma contribuição para a gestão do risco. 120p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia e Transportes) – Departamento de Engenharia de Transportes e Geotecnia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

O'brien & Julien (1984). Physical properties and mechanics of hyperconcentrated sediment flows. In: Delineation of landslide, flash flood, and debris flow hazards in Utah , 85/03 ; 260-280.

Takahashi, Tamotsu. (2007). *Debris flow-Mechanics, Prediction and Countermeasures*. Published by Taylor & Francis Group, London, UK.

# CAPÍTULO 11

## **QUEIJO COALHO: UM PRODUTO TÍPICO DO NORDESTE BRASILEIRO**

*COALHO CHEESE: A TYPICAL PRODUCT OF THE BRAZILIAN  
NORTHEAST*

**Lucas Moraes Gomes**

**Erika Carolina da Silva Marques**

**Kyouk Isabel Portilho dos Santos**

**Natácia da Silva e Silva**

**Ivete Furtado Ribeiro Caldas**

**Anderson Bentes de Lima**

**Liderlanio de Almeida Araújo**

## Resumo

O queijo coalho é um produto que possui origem do Nordeste brasileiro, a matéria prima para sua obtenção é o leite de vaca. Sendo classificado em Tipo A, quando o leite usado é pasteurizado e tipo B quando o leite é in-natura. Esse produto é importante fonte de renda para pequenos e médios produtores artesanais, movimentando significativamente a economia local. A literatura evidencia que muitos dos queijos coalho comercializados em feiras, supermercados, padarias, etc, podem estar contaminados por microrganismos, como Coliformes Total e Termotolerante, Bolor e leveduras, *Staphylococcus aureus* e *Salmonella* spp que podem acarretar danos à saúde a depender do teor presente. Assim, o referido estudo tem como finalidade realizar uma revisão bibliográfica dos artigos, disponíveis nas bases de dados SciELO, Periódicos CAPES e PubMed, publicados entre os anos de 2000 a 2020 para averiguar os dados que esses apresentam sobre a presença de contaminantes microbiológicos no queijo. Pode-se constatar que a maioria dos dados apresentados na literatura evidenciam elevados índices de contaminação do queijo coalho produzido nas mais diversas cidades do Nordeste.

**Palavras chave:** Queijo coalho, alimento, microbiologia.

## Abstract

Coalho cheese is a product that comes from the Brazilian Northeast, the raw material for obtaining it is cow's milk. Being classified in Type A, when the milk used is pasteurized and type B when the milk is in natura. This product is an important source of income for small and medium artisanal producers, significantly moving the local economy. The literature shows that many rennet cheeses sold at fairs, supermarkets, bakeries, etc., may be contaminated by microorganisms, such as Total and Thermotolerant Coliforms, Mold and yeasts, *Staphylococcus aureus* and *Salmonella* spp, which can cause damage to health depending on the present content. Thus, the purpose of this study is to carry out a bibliographic review of the articles, available in the SciELO, CAPES and PubMed databases, published between 2000 and 2020 to investigate the data they present on the presence of microbiological contaminants in cheese. It can be seen that most of the data presented in the literature show high levels of contamination of rennet cheese produced in the most diverse cities in the Northeast.

**Keywords:** Coalho cheese, food, microbiology.

## 1. INTRODUÇÃO

O queijo é um alimento bastante consumido pela população ao redor do mundo. Pode-se encontrar uma ramificação variada de tipos de queijo como o Mascarpone, Mussarela, Cottage, Prato, Ricota, Catupiry, Requeijão, Coalho, Minas Frescal, Edam, dentre outros que são comercializados em feiras, padarias, supermercado etc. Sendo um produto que tem como matéria prima o leite oriundo de vaca, cabra, ovelha, búfala, dentre outras fontes (MAMEDE et al., 2010; BRUNO et al., 2019).

O processo de produção da vasta gama de queijos existentes é diversificado variando a depender do tipo e da região. Nesse aspecto, destaca-se o queijo Roquefort produzido com leite de Ovelha, possuindo aspecto característico devido ao veio verde azulados decorrente do seu processo de obtenção no qual é incrementado a sua massa bolores do tipo *Penicillium*. Possui odor forte e sabor característico notável do ácido butírico, recebendo assim, essa denominação por ser típico da cidade de Roquefort – sur – Souzlon no sul da França (FURTADO, 2003; PEREIRA, 2014).

Um queijo de origem italiano é o Mascarpone que possui aspecto cremoso obtido pela coagulação do creme de leite com a adição de ácido geralmente o acético ou cítricos como o do limão. Dentre os queijos de origem Inglesa destaca-se o Cottage é usado em seu processo de fabricação leite desnatado, coagulando por meio de ação de substância ácida. Seu produto final possui sabor levemente ácido e salgado (BURATTO, 2010; NICOLETTI et al., 2016).

Se tratando dos queijos de origem brasileira pode-se encontrar mais de setenta tipos, distribuídos pelas cinco regiões, contribuindo assim, para geração de renda para economia local e regional. Estes passaram a ser produzido com a chegada do rebanho bovino no período colonial, ganhando aqui sua identidade regional e cultural diferenciando-se dos queijos de Portugal. Aqui o queijo passa a ter o processo de coagulação diferenciado, sendo o coalho obtido de origem animal, enquanto que em Portugal sua matéria prima era de origem vegetal (RIBEIRO, 1959; RESENDE, 2011).

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) pontua que é tido como o queijo no Brasil o produto obtido pela coagulação do leite por meio de coalho, podendo também ser utilizado no processo de bactérias específicas ou ácidos orgânicos. Obtendo assim, dois subprodutos a coalhada de massa fresca ou maturada e uma fração de soro, sendo a massa a matéria prima de produção. É permitido pela legislação adicionar ao queijo substâncias como corantes, especiarias, condimentos, entre outros, desde que estes não possa ocasionar danos colaterais ao consumidor (BRASIL, 1996).

Os queijos podem ser produzidos de forma artesanal ou industrial, a Tabela 01 apresenta a relação de queijos Brasileiros produzidos artesanalmente.



Queijo	Origem
Queijo Minas Salitre	Serra do Salitre – MG
Queijo Minas Araxá	Araxá – MG
Queijo Minas Canastra	(Serra da Canastra - MG)
Queijo Minas Serro	Serro – MG
Queijo Colonial	Oeste Catarinense, Noroeste do Rio Grande do Sul e sudoeste Paraná
Queijo Serrano	Nordeste do Rio Grande do Sul e Santa Catarina,
Queijos do Marajó	(Ilha do Marajó - PA)
Queijo Caipira,	Mato Grosso do Sul.
Queijo Manteiga	Nordeste
Queijo Coalho	Nordeste

Tabela 01: Exemplos de queijo artesanais de origem brasileira.  
Fonte: Slow Food, (2015) adaptada

Dentre os queijos listados na Tabela 01 destaca-se o queijo tipo coalho, produto típico da região Nordeste do Brasil, sendo o leite de vaca usado como matéria prima. Para a produção de 1kg desse produto normalmente utiliza-se em média de 7 a 10 litros de leite, sendo uma das principais fontes econômicas dos pequenos e médios produtores, promovendo giro de capital em ordem de milhões de reais (USDA 2019; PAQUEREAU et al., 2016).

A população pode encontrar no comércio o queijo coalho, na forma crua, assada ou frita, existindo duas versões desse produto, a classificada como tipo A e B. A principal diferença entre ambos é que no primeiro tipo é usado leite pasteurizado, enquanto que o tipo B, possui como matéria prima o leite *in natura*, aproximadamente 85% dos queijos produzidos é obtido por esse meio (NASSU et al., 2003; GOMES, 2012).

O processo de produção do queijo coalho é bastante simples, as etapas aplicadas na sua elaboração são: coação (filtração) do leite, visando remover, caso exista, partículas indesejadas; seguido de adição de coalho para promover a coagulação fase que dura de 40 a 60 minutos. Posteriormente ocorre a separação entre soro e coalhada, sendo essa última posta em formas retangulares até completo preenchimento, passando agora por prensagem manual e em seguida o queijo é retirado das formas estando pronto. Este produto lácteo fica armazenado à temperatura ambiente, por um aproximadamente 4h, para que ocorra eliminação do soro residual. Após esse período é armazenado em freezer ou câmara fria até seguir para comercialização (NICOLETTI et al., 2016; ARAGÃO et al., 2020).

A literatura evidencia ao longo dos tempos que o queijo coalho é passivo de contaminações por microrganismos podendo ocorrer no decorrer do processo de ordenha do rebanho leiteiro ou durante a produção. Pacheco (2011) atribui o contágio à falta de cuidado higiênico-sanitário no ambiente em que ocorre a ordenha e produção. Deste modo, tanto o queijo quanto o leite são altamente propícios a proliferação de contaminantes quando são manipulados, armazenado, conservado ou transportado de forma inadequada (DIAS et al., 2015).

A qualidade microbiológica atua como indicador higiênico-sanitário fornecendo da-

dos que apontam o quanto o queijo encontra-se nos padrões estabelecidos pela legislação, conforme a lei RDC nº 146: Quantificação de coliformes a 45°C (UFC/g): NMP máximo de  $5 \times 10^3$ g; Detecção de *Staphylococcus aureus* (UFC/g): NMP máximo de  $10^3$ g e Detecção de *Salmonella* spp. (em 25g) Ausência.

Neste aspecto atua contribuindo para a prevenção de doenças veiculadas aos diferentes tipos de microrganismos, dentre esses se destaca os Coliformes Total e Termotolerante, Bolor e leveduras, *Staphylococcus aureus* e *Salmonella* spp.

Assim, o presente estudo tem por finalidade realizar uma revisão bibliográfica para averiguação da qualidade microbiológica do queijo coalho comercializado em algumas regiões do Nordeste do Brasil.

## 2. METODOLOGIA

Para a presente pesquisa bibliográfica foram consultados artigos originais disponíveis nas bases de dados SciELO, Periódicos CAPES e PubMed, publicados entre os anos de 2000 a 2020, no total trabalhou-se com 34 artigos escritos em Português. As palavras-chave utilizadas para a realização da pesquisa em português foram: qualidade de queijo coalho, boas práticas de fabricação de queijos coalho, qualidade microbiológica de queijos e conservação de queijo coalho com ênfase para os microrganismos Coliformes Total e Termotolerante, Bolor e leveduras, *Staphylococcus aureus* e *Salmonella* spp.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No Nordeste o queijo coalho apresenta destaque para sua maior produção nos estados de Pernambuco, Ceará, Rio Grande do Norte e Paraíba. Assim, o primeiro trabalho a ser discutido objetivou avaliar a qualidade higiênico-sanitária de 11 amostras de queijo coalho comercializadas no estado do Rio Grande do Norte. Feitosa et al. (2003) conforme os dados apresentados na Tabela 02, evidenciaram que as amostras não apresentavam segurança alimentar, uma vez que mais de 50% destas estavam com elevados índices de *S. aureus* esse teor de bolores e leveduras comprovavam a falta de higiene em decorrência dos procedimentos usados no decorrer da produção.

Microrganismos	Contagens	N de amostras	%
Coliformes totais	11 a 100	3	27,3
(NMP/g)	100 a $\geq 2400$	8	72,7
Coliformes termotolerante (NMP/g)	< 3	7	63,6
	3 a 7	4	36,4
<i>Estafilococos aureus</i>	< 10	3	27,3
(UFC/g)	$7,0 \times 10^4$ a $1,3 \times 10^8$	8	72,7
Bolores e leveduras (UFC/g)	$1,9 \times 10^4$ a $4,8 \times 10^8$	11	100

**Tabela 02:** Resultado para avaliação microbiológica segundo Feitosa et al. (2003)

Fonte: Feitosa et al. (2003)



A legislação brasileira de 2 de fevereiro de 2001 por meio da RDC (Resolução da Diretoria Colegiada) de Nº 12, apresenta os valores toleráveis dos principais microrganismos indicadores de qualidade higiênico-sanitária do queijo coalho, visando maior segurança alimentar para seus consumidores. É estabelecido como tolerância máxima para coliformes a 45°C o valor de  $5 \times 10^3$  NMP/g (Número mais provável por grama) e  $5 \times 10^2$  UFC/g (Unidade de formação de colônia por grama) para *Staphylococcus aureus* e para *Salmonella* spp em 25g deve haver ausência desse contaminante.

Conforme os achados de Feitosa et al. (2003) 72,7% das amostras de queijo coalho estavam com *S. aureus* além do permitido para sua (seu consumo). Em estudo realizado na cidade de São Rafael, também no estado do Rio Grande do Norte, possibilitou a Pereira e colaboradores (2017) evidenciarem amostras de queijos produzidos em 07 queijarias artesanais uma variação de  $8,0 \cdot 10^2$  a  $1,2 \cdot 10^3$ , concluindo assim, os autores que todas as amostras estavam fora dos padrões normativos.

A legislação vigente não preconiza um teor limitante para contaminação por bolor e levedura em queijo coalho, porém a literatura pontua que a presença desses microrganismos atua como indicativo de má qualidade, por serem agentes que atuam na deterioração e mudanças no grau de aceitabilidade do produto (PEIXOTO et al., 2012; DUGAT-BONY et al., 2016).

Como pode-se observar na Tabela 02 Feitosa et al., (2003) evidenciaram uma taxa de variação de  $1,9 \times 10^4$  a  $4,8 \times 10^8$  para Bolor e Levedura, sendo os dados apontados semelhante ao encontrado por Souza et al. (2011) que obtiveram até  $5,2 \times 10^9$  UFC/g para tais microrganismos nas amostras estudadas.

Se tratando da avaliação do teor de coliformes total e termotolerante pode-se evidenciar que 72,7% das amostras continham elevador índice da presença deste primeiro, enquanto que para o segundo microrganismo evidenciou-se que a maioria das amostras estavam com baixo índice de contaminação. Por outro lado, Silva et al. (2018) obtiveram alto teor de ambos os contaminantes em queijo comercializado em feiras livres localizadas na cidade de Petrolina-PE.

Santana et al. (2008) avaliaram a qualidade microbiológica de queijos coalhos comercializados 15 pontos de venda do Mercado Central de Aracaju – SE, por um período de quatro meses totalizando um total de 60 amostras. Conforme dados descritos na Tabela 03 pode-se concluir que o produto avaliado não atende os parâmetros microbiológicos segundo estabelecido pela legislação brasileira, sendo as amostras classificadas pelos autores como impróprios ao consumo humano.

Microrganismos	Contagens	Valores
Coliformes totais (NMP/g)	Mínimo	$8,00 \times 10^2$
	Médio	$1,07 \times 10^3$
	Máximo	$1,23 \times 10^4$
Coliformes termotolerante (NMP/g)	Mínimo	$2,72 \times 10^2$
	Médio	$8,58 \times 10^2$
	Máximo	$1,12 \times 10^3$
<i>Estafilococos coagulase</i> positiva (UFC/g)	Mínimo	$1,87 \times 10^5$
	Médio	$6,30 \times 10^5$
	Máximo	$3,54 \times 10^5$

**Tabela 03:** Resultado para avaliação microbiológica segundo Santana et al., (2008)  
Fonte: Santana et al. (2008)

O grupo de Coliformes atuam como indicador de qualidade microbiológica do queijo coalho, a depender do caso pode ocasionar problemas à saúde, como enfatizou Santana et al, (2008) em seu estudo, resultados semelhantes foram encontrados por Melo et al., (2009) ao trabalharem com 30 amostras de queijo artesanal tipo Minas vendidos no comércio informal de São Luís – MA. Dentre essas amostras 19 apresentaram valores acima de  $10^3$  NMP/g para coliformes totais e 20 amostras foram classificadas como foram dos padrões normativo, dentre essas 10 apresentaram valores acima da ordem de  $10^7$ .

Bezerra et al. (2017) avaliaram 20 amostras de queijo coalho obtidos durante um período de quatro semanas coletados em cinco pontos de comércio da cidade de Souza na Paraíba. Foi constatado coliforme total em 90% das amostras e 35% destas testaram positivo para coliformes termotolerantes. Estes observaram que 35% das amostras não estavam contaminadas por *S. aureus*, enquanto conforme Tabela 03 é evidenciado que Santana et al. (2008) encontram a presença desse contaminante em 100% das amostras.

Em trabalho desenvolvido por Borges et al. (2003) com o intuito de avaliar a qualidade higiênico-sanitária de 43 amostras de queijo de coalho produzidas em diferentes microrregiões do estado do Ceará, foi constatado que 15 dessas amostras continha *Salmonella* quando as normas preconizam que este microrganismo deve apresentar ausência e 39 dessas estavam com alto teor de *S. aureus*. Conforme Tabela 04 pode-se concluir que a maioria das amostras não apresentaram segurança alimentar, visto que estavam com valores acima dos padrões microbiológicos estabelecidos pela legislação brasileira vigente.

Microrganismos	Contagens	N de amostras	%
Coliformes totais (NMP/g)	28 a 450	8	18,6
	451 a $\geq 2400$	35	81,4
Coliformes termotolerante (NMP/g)	11 a 500	11	25,6
	501 a $\geq 2.400$	32	74,4
	< 10	3	6,9
<i>S. aureus</i> (UFC/g)	$1,0 \times 10^3$	1	2,3
	$3,0 \times 10^4$ a $2,0 \times 10^9$	39	90,8
Bolores e leveduras (UFC/g)	$1,7 \times 10^4$ a $1,6 \times 10^9$	43	100

**Tabela 04:** Resultado para avaliação microbiológica segundo Borges et al., (2003)  
Borges et al., (2003)

Borges et al. (2003) encontram elevados valores na análise de coliformes total e termotolerante em sua pesquisa. Andrade et al. (2016) também evidenciaram valores superiores a ordem de  $3,5 \cdot 10^5$  NMP/g para estes dois microrganismos em queijo coalho comercializado em Bananeiras no estado da Paraíba. É importante pontuar que não é apenas o queijo tipo coalho que é passivo de sofrer contaminações, Valdés et al. (2016) relataram elevados índices de contaminações para coliformes total e termotolerante em queijos oriundos do município de Zacazonapan, Estado do México.

Neste contexto, Apolinário et al. (2014) constataram que 77,4% das amostras de queijo Minas Frescal estavam com coliformes totais e 54,8% com valor superior estabelecido pela legislação para coliformes termotolerantes. O leite usado no processo de produção desse tipo de queijo foi submetido ao processo de pasteurização, técnica essa usada para redução de microrganismos, evidenciando que esses concentrados lácteos podem ser contaminados. Sallotti et al., (2006) e Nunes et al. (2013) destacam que durante o processo de pasteurização pode ocorrer falhas decorrente de erro na manipulação ou falta de procedimentos higiênicos.

Se tratando dos *Staphylococcus aureus* conforme a Tabela 04 pode-se evidenciar que 90,8% das amostras estavam com teor elevado com variação de  $3,0 \times 10^4$  a  $2,0 \times 10^9$ . Resultado semelhante foi constatado por Sousa et al. (2014), ao avaliarem 50 amostras de queijo coalho comercializado nos diversos estados do Nordeste, concluíram que 95,2% das amostras continham a presença desse microrganismo. Silva et al. (2010) evidenciaram que 100% de suas amostras testaram positivo para a presença *S. aureus* em suas amostras de queijo, com valor acima de  $1,1 \cdot 10^3$  UFC/g. E Oliveira et al. (2010) evidenciaram que 76,19% das amostras estavam com essa bactéria em sua composição, possuindo variação de  $1,6 \cdot 10^3$  a  $2,0 \cdot 10^5$  UFC/g para queijos coalho vendido na cidade do Cabo de Santo Agostinho – PE.

Nesse estudo de Borges et al. (2003) foi possível constatar que 100% de suas amostras estavam com Bolor e Leveduras com taxa de variação de  $1,7 \times 10^4$  a  $1,6 \times 10^9$  evidenciando assim possível falta de cuidados com as boas práticas de produção do queijo coalho. Peixoto et al. (2012) em sua pesquisa que tinha por finalidade avaliar o queijo oriundo de 4 laticínios no estado da Paraíba chegaram a conclusão de que maioria das amostras continha a presença de Bolor e Levedura.

A legislação brasileira chama a atenção para o limite dos referidos microrganismos abordado no presente trabalho, dentre estes destaca-se a *Salmonella* spp essa bactéria no queijo coalho deve estar ausente. Porém, na literatura conforme a Tabela 05 é relatado a presença dessa no referido concentrado lácteo.

<b>Autores</b>	<b>Contagens</b>	<b>N de amostras</b>	<b>%</b>
BORGES et al. (2003)	Ausência	28	65,1
	Presença	15	34,9
FEITOSA et al. (2003)	Ausência	10	91
	Presença	1	9
SANTANA et al. (2008)	Ausência	44	73,33
	Presença	16	26,6
OLIVEIRA et al. (2010)	Ausência	38	90,48
	Presença	4	9,52

**Tabela 05:** Dados disponíveis na literatura para *Salmonella* sp. (em 25 g)

Fonte: BORGES et al. (2003); FEITOSA et al., (2003); SANTANA et al. (2008); OLIVEIRA et al. (2010).

Dentre os trabalhos apresentados segundo Borges et al., (2003) constataram que 34,9% das amostras testaram positiva para a presença de *Salmonella* sp. e Santana et al. (2008) constataram teor de 26,6%, sendo esses os dois trabalhos que apresentaram maior grau de contaminação quando comparados com o de Feitosa et al. (2003) e o de Oliveira et al. (2010) que obtiveram índices abaixo de 10%.

Resultado superior aos destacados na Tabela 05 foi relatado por Mendes et al. (2001) ao constarem que 73,3% das amostras de queijo coalho comercializados em 15 municípios de Pernambuco estavam com *Salmonella* sp. Resultado oposto foi constatado por Duarte et al. (2005) que encontraram essa bactéria em 5,5% das amostras avaliadas. Aragão et al. (2018) avaliaram 60 amostras de queijo coalho comercializado na cidade de Venturosa e concluíram que nenhuma amostra foi detectada a presença desse microrganismo.

## 4. CONCLUSÃO

Diante do exposto é importante pontuar a necessidade da adoção de prática seguras durante o processo de ordenha, da produção do queijo ou aperfeiçoamento das técnicas já existente como refrigeração, processamento térmico e embalagens ou desenvolvimento de técnicas alternativas. De modo geral, a maioria dos dados apresentados na literatura evidenciam elevados índice de contaminação do queijo coalho comercializado nas feiras livres, supermercados, padarias, dentre outros.

## Referências

- APOLINÁRIO, T.C. C.; SANTOS, G.S.; LAVORATO, J.A.A. Avaliação da qualidade microbiológica do Queijo Minas frescal produzido por laticínios do estado de Minas Gerais. **Rev. Inst. Laticínios Cândido Tostes**, Juiz de Fora, v. 69, n. 6, p. 433-442, nov/dez, 2014
- ARAGÃO, B. B.; TRAJANO, S.C.; SILVA, J. G.; OLIVEIRA, J. M. B.; SOARES, L.B.F.; SILVA, M. G. V.; MAIA, R. C. C.; MOURA, A. P. B. L.; Investigation of *Listeria* spp. and *Salmonella* spp. in curd cheese produced and distributed in the county of Venturosa – Pernambuco, Brazil. **Medicina Veterinária** (UFRPE), Recife, v.12, n.2 (abr-jun), p.154-158, 2018
- BEZERRA, D.E.L.; SILVA-FILHO, C. R.G.; GOMES, D. J.; PEREIRA-JUNIOR, E. B. Avaliação microbiológica de queijo de coalho comercializado na feira livre de Sousa – Paraíba. **Divulgação Científica E Tecnológica do IFPB** | nº 37. Joao Pessoa. 2017
- BORGES, M.F.; FEITOSA, T.; NASSU, R.T.; MUNIZ, C.R.; AZEVEDO, E.H.F.; FIGUEIREDO, E.A.T. Microrganismos patogênicos e indicadores em queijo coalho produzido no Estado do Ceará, Brasil. **Boletim do Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos**, v.21, n.1, p.31- 40, 2003.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Portaria nº 146, de 7 de março de 1996. Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Queijos. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 11 mar. 1996, Seção 1, p.3977-3978.
- BRUNO, L. M.; MOREIRA, L. S.; SANTOS, A. S. P. **Liofilização de *Lactobacillus* spp. Isolados de Queijos de Coalho Artesanal**. Embrapa: Comunicado Técnico 252, Fortaleza, CE, 2019.
- BURATTO, T. **Mastering mascarpone: what it takes to make a perfect batch of mascarpone cheese** (Monografia de Conclusão de Curso). College of Agriculture, Food and Environmental Sciences California Polytechnic State University, San Luis Obispo. Carvalho, T. Sousa, S.C., Perez-Matín, R.I., Vasquez, J.A.,

Carvalh. 2010.

DIAS, J. do N. et al. Avaliação das condições higiênico-sanitárias de leite cru e queijo coalho comercializados em mercados públicos no norte do Piauí. **Revista Saúde e Pesquisa**, Piauí, v. 8, n. 2, p. 277-284 maio/ago, 2015.

DUARTE, D.A.M.; SCHUCH, D.M.T.; SANTOS, S.B.; Ribeiro, A.R.; Vasconcelos, A.M.M.; Silva, J.V.D.; DA MOTA, R.A. 2005. Pesquisa de *Listeria monocytogenes* e microrganismos indicadores higiênicosanitários em queijo-coalho produzido e comercializado no estado de Pernambuco. **Arquivo do Instituto Biológico**, v.72, p.297-302,

DUGAT-BONY, E. et al. Highlighting the microbial diversity of 12 French cheese varieties. **International Journal of Food Microbiology**, v. 238, p. 265-273, 2016.

FEITOSA, T.; BORGES, M.F.; NASSU, R.T. et al. Pesquisa de *Salmonella* sp., *Listeria* sp. e microrganismos indicadores higiênico-sanitários em queijos produzidos no Estado do Rio Grande do Norte. **Cienc. Tecnol. Aliment.**, v.23, p.162- 165, 2003.

FURTADO, M. M. **Queijos finos maturados por fungos**. São Paulo: Milkbizz, p.128, São Paulo, 2003.

GOMES, R. A.; MEDEIROS, U. K. L. Caracterização físico-química dos Queijos de Coalho artesanal e industrial comercializados na cidade de Currais Novos/RN. In: **VII CONNEPI**. Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação. 2012.

MAMEDE, M. E.O.; VIANA, A.; SOUZA, A. L. C.; FARIAS S.A.O.; ARAUJO, P.A. Estudo das características sensoriais e da composição química de queijo de coalho industrializado. **Rev Inst Adolfo Lutz**, v.69 n.3, p.364-370, 2010.

MELO, A.C.M.; ALVES, L.M.C; COSTA, F.N.; Avaliação da qualidade microbiológica do queijo tipo minas padrão comercializado na cidade de São Luis, MA. **Arq. Inst. Biol.**, São Paulo, v.76, n.4, p.547-551, out./dez., 2009

MENDES, E.S.; LIMA, E.C.; NUMERIANO, A.K.M.; COELHO, M.I.S.N. *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* sp. e coliformes em queijo de "coalho" comercializados em Recife. **Higiene Alimentar**, v.13, n.66/67, p.122-126, 2001.

NASSU, R.T. et al. **Diagnóstico das condições de processamento e caracterização físico-química de queijos regionais e manteiga no Rio Grande do Norte**. ISSN 1679-6543. Embrapa, Fortaleza, CE, dezembro, 2003.

NICOLETTI, G.; VERDI, K. J.; ENDRES, C. M. Desenvolvimento de queijo tipo cottage sem lactose com adição de fibras e redução de sódio e gordura. **Rev. Inst. Laticínios Cândido Tostes**, Juiz de Fora, v. 71, n. 4, p. 186-196, out/dez, 2016

NUNES, M. M. et al. Investigation of food and water microbiological conditions and foodborne disease outbreaks in the Federal District, Brazil. **Food Control**, v. 34, n. 1, p. 235-240, 2013.

OLIVEIRA, K.A.; EVÊNCIO - NETO, J.; PAIVA, J.E.; MELO; L.E.H. Qualidade microbiológica do queijo de coalho comercializado no município do Cabo de Santo Agostinho, Pernambuco, Brasil. **Arq. Inst. Biol.**, São Paulo, v.77, n.3, p.435-440, jul./set., 2010

PACHECO, M. de S. **Leite cru refrigerado do Agreste Pernambucano: Caracterização da Qualidade e do Sistema de Produção**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Ciências Domésticas, Recife, 2011.

PAQUEREAU, B.; MACHADO, G.; CARVALHO, S. **O queijo de coalho em Pernambuco: histórias e memórias**. Garanhuns: E. dos Autores, 2016. p. 20-27.

PEIXOTO, J. P. N.; FURTADO, D. A.; OLIVEIRA, C. J. B.; GOMES, J. P. Qualidade do ambiente e níveis de contaminação por micro-organismos em queijarias, no Agreste Paraibano. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.14, n. 2, p. 177-183, 2012.

PEREIRA, A. C. P. **Características físicas, químicas e microbiológicas de queijos tipo Brie e tipo Camembert produzidos no Brasil**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2014.

PEREIRA, T. M. F.; GOIS, V. A.; PAIVA, K. M.; SOUZA, L. B.; SOUZA, J. A. Staphylococcus aureus e Salmonella spp. em queijos de coalho artesanais produzidos em São Rafael, Rio Grande do Norte. **Revista Verde**, v.12, n.2, p.358-361, 2017.

RESENDE, M.F.S.; COSTA, H.H.S.; ANDRADE, E.H.P.; ACÚRCIO, L.B.; RUMMOND, A.F. D; CUNHA, A.F.; NUNES, A.C.; MOREIRA, J.L.S.; PENNA, C.F.A.M.; SOUZA, M.R. Queijo de minas artesanal da Serra da Canastra: influência da altitude das queijarias nas populações de bactérias acidolácticas. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.** vol.63 no.6 Belo Horizonte Dec. 2011

RIBEIRO, J.A. Queijos do Brasil. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 14, n. 86, p. 33-34, 1959.

SALOTTI1, B.M.; CARVALHO, A.C.F.B.; AMARAL, L.A. VIDAL-MARTINS, A.M.C.; CORTEZ, A.L. Qualidade microbiológica do queijo Minas frescal comercializado no município de Jaboticabal, SP, Brasil. **Arq. Inst. Biol.**, São Paulo, v.73, n.2, p.171-175, abr./jun., 2006

SANTANA, R. F.; SANTOS, D. M.; MARTINEZ, A. C. C.; LIMA, A. S. Qualidade microbiológica de queijo-coalho comercializado em Aracaju, SE. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.60, n.6, 2008.

SILVA, G.L.; COELHO, M.C. S.C.; COELHO, M.I.S; LIBORIO, R.C.; AMORIM, I.S.; SILVA, G.C.S. Aspectos microbiológicos de queijos coalhos comercializados em feiras livres do município de Petrolina-PE. **R. bras. Tecnol. Agroindustr.**, Ponta Grossa, v. 12, n.01: p. 2613-2626, jan./jun. 2018.

SILVA, M. C. D.; RAMOS, A. C. S.; MORENO, I.; MORAES, J. O. Influência dos procedimentos de fabricação nas características físico-químicas, sensoriais e microbiológicas de queijo de coalho. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, São Paulo, v. 69, n. 2, p. 214-221, 2010.

SOUSA, A. Z. B.; ABRANTES, M. R.; SAKAMOTO, S. M.; SILVA, J. B.A.; LIMA, P. O.; LIMA, R. N.; ROCHA, M. O. C.; PASSOS, Y. D.B; Aspectos físico-químicos e microbiológicos do queijo tipo coalho comercializado em estados do nordeste do Brasil. **Arq. Inst. Biol.**, São Paulo, v.81, n.1, p. 30-35, 2014

SOUZA, E. L.; COSTA, A.C.V.; GARCIA, E. F.; OLIVEIRA, M. E. G.; SOUZA, W.H; QUEIROGA, R. C. R. Quality of Coalho-like goat's milk cheese with added coumarou (Amburana cearensis A.C. Smith) **Braz. J. Food Technol.**, Campinas, v. 14, n. 3, p. 220-225, jul./set. 2011

USDA. **Produção brasileira de lácteos deve crescer 2% em 2020, estima USDA**, 2019. Disponível em <https://www.milkpoint.com.br/noticias-e-mercado/gironoticias/producao-brasileira-de-lacteos-crescera-2-em-2020-estima-usda216615/Acesso em 30/06/2020>

VALDÉS, J. J.S.; NAVARRO, V. C.; GONZÁLEZ, F. L.; NOVA, F. A.; ORTEGA, O. A.C.; FLORES, J.G.E. Diagnosis of sanitary quality in artisanal cheese makers in the municipality of Zacazonapan, State of Mexico] **Salud Publica Mex.** Aug;58(4):461-7. 2016

# CAPÍTULO 12

## ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO DA FOZ DO RIACHO PORTEIRAS NO MUNICÍPIO DE PETROLINA-PE

*TROPHIC STATE INDEX OF MOUTH OF CREEK PORTEIRAS IN THE  
MUNICIPALITY OF PETROLINA-PE*

**Iasmin de Souza Silva**

**Fernanda da Silva Macedo**

**Victor Daniel de Lima Cunha**

**Ana Laura Nunes da Silva**

**Miriam Cleide Cavalcante de Amorim**

## Resumo

O estudo objetivou determinar o Índice de Estado Trófico (IET) da foz do Riacho Porteiras, afluente do Rio São Francisco, localizado em trecho urbano da cidade de Petrolina-PE. Os resultados mostraram que o riacho apresenta estado trófico mesotrófico, característico de corpos d'água com produção mediana, mesmo com valores aceitáveis faz-se necessário estudos posteriores, pois o mesmo recebe contribuições de cargas pontuais por meio de esgotos domésticos e difusas advindas de áreas agricultáveis.

**Palavras-chave:** Eutrofização, drenagem, fósforo, riachos urbanos.

## Abstract

The study aimed to determine the Trophic State Index (TEI) of the mouth of Porteiras Creek, a tributary of the São Francisco River, located in an urban section of the city of Petrolina-PE. The results showed that the creek presents a mesotrophic trophic state, characteristic of water bodies with average production, even with acceptable values, further studies are necessary, because it receives contributions of punctual loads through domestic sewage and diffuse loads coming from agricultural areas.

**Keywords:** Eutrophication, drainage, phosphor, urban stream.



## 1. INTRODUÇÃO

O município de Petrolina encontra-se na mesorregião do São Francisco, no estado de Pernambuco. Distante 722 km da capital Recife, a sede da cidade conta com uma população estimada de 359.372 habitantes (IBGE, 2021). Petrolina está situada na região semiárida que mais chove no mundo, com um índice pluviométrico anual variando entre 107,20 e 1023,50 mm (LOPES *et al.*, 2017), faz parte da Região de Desenvolvimento Integrada (RIDE) Polo Petrolina-PE/Juazeiro-BA, e possui atividades econômicas principalmente de cunho agrícola, tendo o Rio São Francisco como manancial hídrico.

A Bacia do Rio São Francisco é a terceira em importância no Brasil, ocupando 8% do território nacional, com uma área de aproximadamente 645.000 km<sup>2</sup> (PORTAL SÃO FRANCISCO, 2010). O sistema de macrodrenagem do município é composto por um conjunto de riachos que passam pela zona urbana e deságuam no rio São Francisco, como é o caso do Riacho Porteiras.

O Riacho Porteiras é um afluente do Rio São Francisco considerado intermitente, com base no mapa municipal estatístico na escala de 1: 150.000 (IBGE, 2010), tem sua origem no interior do município dentro do perímetro irrigado Nilo Coelho e funciona como receptor dos efluentes de estações de tratamento de esgoto, além de resíduos agrícolas, como também de sedimentos das áreas agricultáveis, contribuindo, desta forma, na eutrofização, comprometendo assim o equilíbrio natural e provocando impactos negativos referentes à qualidade da água do rio São Francisco (BARRETO *et al.*, 2015).

Um dos parâmetros utilizados para avaliar a qualidade da água em corpos hídricos é a concentração de nutrientes como, por exemplo, o fósforo (P) e o nitrogênio (N). P é um elemento indispensável para todas as formas de vida, contudo, seu excesso, resulta na eutrofização (ESTEVES, 1988). Segundo a CETESB (2009), a presença do fósforo pode ser avaliada como uma medida do potencial de eutrofização, já que este nutriente atua como o agente causador do processo.

De acordo com Da Rocha (2020), entre as principais fontes de fósforo nos corpos hídricos destacam-se os esgotos domésticos, pela presença dos detergentes superfosfatados e da própria matéria fecal. Além disso, a drenagem pluvial de áreas agrícolas e urbanas também é uma fonte significativa de fósforo para os corpos d'água. Segundo Di Bernardo (2008), a frequência de fósforo na água está relacionada a processos naturais (dissolução de rochas, carreamento do solo, decomposição de matéria orgânica, chuva) ou antropogênicos (lançamento de esgotos, detergentes, fertilizantes, pesticidas).

Dessa forma, faz-se necessário determinar as concentrações de fósforo no ambiente aquático, em razão disso, o Índice de Estado trófico (IET) avalia a qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes e os efeitos relacionados ao crescimento excessivo das algas ou o aumento da infestação das macrófitas aquáticas (CETESB, 2009) para o manejo sustentável, utilizando os valores de fósforo total.

Assim, a determinação do IET auxilia os agentes responsáveis na tomada de decisões relativas ao estado em que se encontra o curso d'água, obtendo-se as informações

e permitindo descrever as relações bióticas e abióticas desse ecossistema (ANDRIETTI *et al.*, 2016). Conforme disposto no Art. 7º da Política Nacional de Recursos Hídricos, Lei 9.433/97, o diagnóstico da situação atual dos ecossistemas aquáticos faz parte do conteúdo mínimo do Plano de Recursos Hídricos.

Portanto, espera-se, com tal estudo, contribuir de forma objetiva para a gestão das águas superficiais. Diante disso, este trabalho teve como objetivo determinar o Índice de Estado Trófico do corpo d'água do Riacho Porteiras no município Petrolina-PE, em sua foz, utilizando os valores de fósforo total, tendo como base os limites para as diferentes classes de trofia em função dos valores do IET.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Área de estudo e monitoramento

O ponto de amostragem representativo da foz do Riacho Porteiras está localizado próximo ao Distrito Industrial de Petrolina, com as seguintes coordenadas geográficas: S 09°23.520' W 040°31.513' (Figura 1).



Figura 1- Foz do Riacho Porteiras no município de Petrolina-PE.  
Fonte: Autores (2021)

Durante o monitoramento foram realizadas três campanhas de coleta: 24/08/2021, 28/09/2021 ambas correspondendo ao período seco e a terceira campanha em 26/10/2021, representando o período chuvoso, visto que foi executada 48 horas após ocorrência de chuvas cuja precipitação máxima foi de 15,0 mm, segundo dados meteorológicos do banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

## 2.2 Coleta e análise laboratorial

As amostras foram coletadas, armazenadas, e encaminhadas ao Laboratório de Engenharia Ambiental (LEA) localizado no Campus Juazeiro da Universidade Federal do Vale do São Francisco, onde posteriormente foram realizadas as análises de fósforo total (PT), pelo método de digestão por persulfato de potássio e ácido ascórbico, e de nitrogênio amoniacal (N) como representativos dos nutrientes. As análises físico-químicas realizadas foram pH, cor, turbidez e condutividade elétrica (CE).

Todas as coletas e análises foram realizadas em triplicata seguindo procedimentos analíticos definidos por APHA (2012). A leitura do pH foi efetuada em potenciômetro Modelo MS Tecnopon mPA 210. A leitura da turbidez foi realizada em Turbidímetro de Modelo TB 1000, e a cor determinada em leitor portátil de modelo AquaColor Cor IP67.

## 2.3 Determinação do IET

O Índice de Estado Trófico (IET) para posterior classificação foi obtido com base na concentração de fósforo total, empregando a Equação 1 (LAMPARELLI, 2004).

$$IET(PT) = 10 \left[ 6 - \left( \frac{0,45 - 0,36 \times \ln \ln PT}{\ln 2} \right) \right] - 20(1)$$

Onde:

PT: Concentração de fósforo total medida à superfície da água, em  $\mu\text{g.L}^{-1}$ ;

ln: Logaritmo natural;

Para a classificação utilizou-se a classificação do estado trófico para rios segundo índice de Carlson (1977), adaptado de Lamparelli (2004), que o classifica em seis graus de trofias, como demonstra a Tabela 1, a qual mostra os limites demarcados para cada classe levando em consideração o IET com os valores calculados de fósforo total.

Estado Trófico	IET (PT)
Ultraoligotrófico	$IET(PT) \leq 13$
Oligotrófico	$13 < IET(PT) \leq 35$
Mesotrófico	$35 < IET(PT) \leq 137$
Eutrófico	$137 < IET(PT) \leq 296$
Supereutotrófico	$296 < IET(PT) \leq 640$
Hipereutrófico	$640 < PT$

Tabela 1- Classificação do estado trófico para rios segundo índice de Carlson (1977). Fonte: Adaptado de Lamparelli (2004).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos para fósforo total, nitrogênio e a determinação do IET calculado utilizando a variável fósforo, conforme CETESB (2004), do corpo hídrico monitorado. Os resultados das análises físico-químicas encontram-se na Tabela 3.

Campanhas	PT ( $\mu\text{L}^{-1}$ )	N ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	IET (PT)
1 <sup>a</sup>	30.000	30	87
2 <sup>a</sup>	18.100	73	85
3 <sup>a</sup>	4.200	75	77

Tabela 2 – Resultados nutrientes e valores do IET nas três campanhas de coleta. Fonte: Autores (2022)

Campanhas	pH	Cor (Pt/L)	Turb (UNT)
1 <sup>a</sup>	7,45	13	69
2 <sup>a</sup>	7,36	62	430
3 <sup>a</sup>	8,09	375	178

Tabela 3 – Físico-química da água nas três campanhas de coleta. Fonte: Autores (2022)

Analisando-se as condições de qualidade da água conforme Resolução 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), durante as visitas *in loco* para coleta das amostras nas três campanhas não foram verificados materiais flutuantes, nem espumas não naturais, assim como óleos e graxas, estando ambos virtualmente ausentes.

Os valores de fósforo do Riacho estavam acima do preconizado pela respectiva Resolução quando analisada para águas doces de classe 2, visto que assim classifica-se o Rio São Francisco a partir da confluência com o rio Mombaça até a sua foz no Oceano Atlântico (IBAMA, 1989). É importante salientar que para ambientes lóticos o fósforo total não poderá exceder o valor de  $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ .

O nitrogênio amoniacal acompanhou os valores de fósforo e também estiveram acima do preconizado na resolução do CONAMA que estabelece os valores de  $3,7 \text{ mg L}^{-1} \text{ N}$ , para  $\text{pH} < 7,5$ ,  $2,0 \text{ mg L}^{-1} \text{ N}$ , para  $7,5 < \text{pH} < 8,0$ ,  $1,0 \text{ mg L}^{-1} \text{ N}$ , para  $8,0 < \text{pH} < 8,5$  e  $0,5 \text{ mg L}^{-1} \text{ N}$ , para  $\text{pH} > 8,5$ . Infere-se então que os valores elevados de nutrientes podem advir de lançamentos de cargas orgânicas originárias das estações de tratamento de esgotos da cidade e/ou das cargas difusas das áreas agricultáveis do projeto Senador Nilo Coelho por onde o riacho percorre.

Os valores de pH para as três campanhas encontram-se conforme estabelecido pela Resolução (6,0 a 9,0). Já para o parâmetro de cor e turbidez os valores estavam acima do preconizado pela Resolução na segunda e terceira campanha. A Resolução 357/2005 estabelece para cor verdadeira um limite de até  $75 \text{ mg Pt/L}$  e para turbidez até 100 UNT.

Com base nos resultados de fósforo total apresentados na Tabela 2, a classificação do estado trófico para cada uma das três campanhas encontra-se na Tabela 4.

Campanhas	IET (PT)	Estado Trófico
1 <sup>a</sup>	87,48	Mesotrófico
2 <sup>a</sup>	84,85	Mesotrófico
3 <sup>a</sup>	77,27	Mesotrófico
<b>Média</b>	83,20	Mesotrófico

Tabela 4 – Classificação do estado trófico para cada campanha de coleta em função do resultado do IET (PT). Fonte: Autores (2022)

Os resultados obtidos para o IET da água na foz do Riacho Porteiras demonstram que o riacho possui estado trófico mediano “Mesotrófico” (IET (PT) = 83,20), característico de corpos d’água com produtividade mediana.

Gomes e De Paula (2019) analisando o índice de estado trófico no rio urbano Acaraú localizado em Sobral-Ceará-Brasil, obtiveram resultados muito similares a este estudo, predominando o grau mesotrófico na maioria dos pontos avaliados. No entanto, mesmo com valores aceitáveis necessita de atenção, uma vez que, o riacho Porteiras deságua no rio São Francisco e é corpo receptor de esgoto residencial e resíduos de fertilizantes, como constatado por Barreto *et al.* (2015), essas contribuições indevidas provocam implicações no equilíbrio desse ecossistema aquático, e por consequência na qualidade da água para o abastecimento urbano (MONTEFUSCO *et al.*, 2016).

Como demonstrado por Gomes *et al.* (2010), o estado trófico mediano sugere atenção para seu uso no abastecimento urbano e para dessedentação de animais, uma vez que o fitoplâncton pode liberar substâncias tóxicas. Posto isso, chama atenção a proximidade entre a foz do Riacho Porteiras e o ponto de captação da Estação de Tratamento de Água (ETA) do município, como é possível observar na Figura 2, imagem de satélite oriunda da ferramenta *Google Maps* (escala 1:5.000), onde o Ponto A (PA) corresponde a foz do riacho e o Ponto B (PB) indica o ponto de captação de água.



Figura 2. Foz do riacho Porteiras (PA) e ponto de captação de água da ETA de Petrolina-PE (PB). Fonte: Google Maps (2022)

Além disso, devido ao período chuvoso observa-se que os índices obtidos na terceira campanha de coleta (Fósforo Total (PT) =  $4.200 \mu\text{g.L}^{-1}$ ; IET (PT) = 77,27) são menores em comparação com as outras duas campanhas, isso porque nos períodos de estiagem existe uma alta concentração de nutrientes, já nos períodos chuvosos os nutrientes estão em menor concentração devido ao volume de água, ou seja a variação das chuvas influencia na concentração do fósforo total (PT). No entanto, a classificação do estado trófico manteve-se como mesotrófico.

## 4. CONCLUSÃO

Os índices de estado tróficos obtidos das águas na foz do Riacho Porteiras o enquadram no estado trófico do tipo mesotrófico. Os valores elevados do fósforo e do nitrogênio apontam a vulnerabilidade para a ocorrência da eutrofização.

Os resultados obtidos subsidiam um conhecimento prévio quanto à origem da presença de fósforo total no referido riacho a partir de cargas poluidoras difusas, assim como evidenciam as implicações para a qualidade da água no seu curso, e por consequência, para a qualidade da água do Rio São Francisco.

Sugere-se a continuidade de estudos com análises das águas do próprio Rio São Francisco e verificação dos lançamentos de cargas poluidoras, e assim expandir o conhecimento acerca do assunto na área abordada e contribuir com o planejamento e gestão dos recursos hídricos no município de Petrolina.

## Referências

ANDRIETTI, Grasiane *et al.* Índices de qualidade da água e de estado trófico do rio Caiabi, MT. **Revista Ambiente & Água**, v. 11, p. 162-175, 2016.

APHA. American Public Health Association. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 22ªed., Washington, American Public Health Association Pub., 1935 p, 2012.

BARRETO, Robson Duarte. **Uso e ocupação do solo às margens do Rio São Francisco no Município de Petrolina-PE: impactos ambientais no canal fluvial**. Antena Repositório Digital da UFPE, 2015. Disponível em: < <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/14239>>. Acesso em: 11 abr. 2022.

CARLSON, R.E. 1977. A trophic state index for lakes. **Limnol. and Oceanogr.** v.22 (2).p. 261- 269.

CETESB. **Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo**. São Paulo: CETESB, 2009.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Relatório de Qualidade das Águas interiores de São Paulo**. São Paulo: CETESB, 2004.

DA ROCHA, Maria de Jesus Delmiro; LIMA NETO, Iran Eduardo. Relação entre fósforo total e vazão afluente nos principais reservatórios rurais do estado do Ceará no semiárido brasileiro. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, desarrollo y práctica**, v. 13, n. 3, p. 715-730, 2020.

DI BERNARDO, Luiz; LYDA, Patricia. Seleção de Tecnologia de Tratamento de Água - São Carlos: Editora LDIBE LTDA, 2008.



ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. São Paulo. Interciência/FINEP. 575p, 1988.

GOMES, Deyson Paulo *et al.* Avaliação do estado trófico para o rio Catolé-BA em diferentes épocas do ano. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, v. 6, n. 11, 2010.

GOMES, Francisco Bruno Monte; DE PAULA, Davis Pereira. Determinação e avaliação do índice de estado trófico (IET) em rio urbano localizado no estado do Ceará, Brasil. **Revista da Casa da Geografia de Sobral** (RCGS), v. 21, n. 2, p. 730-744, 2019.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de dados meteorológicos**. Disponível em <<https://portal.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 05 dez. 2021.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2010). **Mapa Municipal estatístico de Petrolina-PE** [Mapa]. 1: 150.000. Petrolina, Pernambuco.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Estimativas da População**. 2021. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/pt/inicio.html>>. Acesso em: 16 abr. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS / IBAMA (1989). Enquadra os cursos d'água federais da bacia hidrográfica do rio São Francisco. Portaria no 715, de 20 de setembro de 1989. Lex: Comitê Executivo de Estudos Integrados da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco - CEEIVASF. Projeto Gerencial 002/80 "Enquadramento dos Rios Federais da Bacia Hidrográfica do São Francisco". Brasília: IBAMA, p. 53-57. 1989.

LAMPARELLI, M.C. **Graus de trofia em corpos d'água do Estado de São Paulo**: avaliação dos métodos de monitoramento. (Doutorado), Universidade de São Paulo, São Paulo, 235p, 2004.

LOPES, Iug et al. Balanço hídrico em função de regimes pluviométricos na região de Petrolina-PE. Irriga, v. 22, n. 3, p. 443-457, 2017.

MONTEFUSCO, Nayara Evelyn G.; BARBOSA, Patrícia da Silva; ANTUNES, Aline Flavia N. Remígio; AMORIM, Miriam Cleide C. de; NETTO, Oscar de Moraes Cordeiro. Qualidade da água do São Francisco em município integrante da RIDE Petrolina/Juazeiro em ponto de captação do sistema de abastecimento. In: **XIII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste**, 2016.

PORTAL SÃO FRANCISCO. **Hidrografia do Brasil**. 2010. Disponível em: <<http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/meio-ambienteagua/hidrografia-do-brasil.php>>. Acesso em: 18 abr. 2022.

# CAPÍTULO 13

## **SEGURANÇA DE BARRAGENS: NORMAS E CONCEITOS**

*DAM SAFETY: STANDARDS AND CONCEPTS*

**Ranielle Linhares da silva**

**Carlos José Sousa Passos**

**Gabriela Rincon Ligoski**

## Resumo

Este estudo aborda a execução de uma barragem de terra, de acordo com normas de qualidade e como forma de garantir as condições de segurança e bom desempenho das obras. Consideram-se não só as atividades de construção de novas obras, mas também as atividades de reforço, reabilitação ou desativação de obras existentes. Este é um estudo de revisão bibliográfica que tem como objetivo principal descrever e analisar as principais técnicas utilizadas na construção de barragens de terra. As disposições destas Diretrizes destinam-se às barragens que se enquadram na Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, e cujo reservatório tem por fim a acumulação de *água* para uso na irrigação.

**Palavras-Chave** – Barragem. Segurança. Normas.

## 1. INTRODUÇÃO

De acordo com a Agência Nacional de Águas e Saneamento (ANA, 2019), no Brasil existe cerca de 24.000 barragens cadastradas pelos órgãos fiscalizadores, sendo que 58% estão em dia com a documentação e certificação. No país, há 43 órgãos potencialmente fiscalizadores da segurança de barragens, em âmbito federal e estadual.

Trazendo um problema ambiental gravíssimo, não somente com o rejeito parado em uma barragem, mas também com risco de rompimento, semelhante ao que ocorreu em Mariana e Brumadinho no estado de Minas Gerais, onde ocorreu um acidente ambiental que impactou toda a cidade e os municípios próximos, buscou-se então realizar algumas pesquisas sobre essas barragens para a possibilidade de reaproveitar o rejeito.

As barragens constituem a engenharia civil mais importante na gestão dos recursos hídricos porque armazenam água durante a estação das chuvas para atender às necessidades de períodos escassos. É muito comum a existência de pequenas barragens de terra, que na maioria das vezes são construídas sem um projeto cuidadoso, colocando em risco o trabalho e o pessoal e causando prejuízos econômicos. Os projetos de construção de barragens de terra devem ser executados por profissionais treinados com base em pesquisas, análises e padrões apropriados.

As barragens de terra têm sido usadas, desde os tempos mais remotos, para aprisionar e desviar água. São simplesmente estruturas compactadas que dependem da sua massa para resistir ao deslizamento e tombamento, e são exemplos do tipo de barragem mais comum encontrado em todo o Mundo (STEPHENS, 2011).

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Existem diferentes tipos de barragens, como as de terra, rejeito, concreto. Conforme exemplifica Sthepens (2011), as barragens de terra têm suas vantagens e desvantagens, sendo que as principais vantagens envolvidas na construção de pequenas barragens de terra são:

1. São utilizados materiais naturais locais, navegação, recreação, geração de energia;
2. Os requisitos para as fundações são menos exigentes do que para outros tipos de barragens;
3. A base larga de uma barragem de terra distribui a carga nas fundações. Barragens de terra resistem ao assentamento e movimentos melhor do que estruturas mais rígidas, sendo mais adequadas para pequenas áreas.

No entanto, também existem desvantagens e estas são:

1. Uma barragem de terra é mais fácil de ser danificada ou destruída pela água corrente, passando sobre ou batendo contra ela. Assim, um descarregador/vertedor e proteção adequada a montante são essenciais para qualquer barragem.
2. Barragens obrigam a inundação de grandes áreas, riscos de rupturas, interferência na transposição das águas e no meio ambiente.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A NBR 13028 (2017) conceitua as barragens de mineração como “barragens, barramentos, diques, reservatórios, cavas exauridas com barramentos construídos, associadas às atividades desenvolvidas com base em direito minerário, utilizados para fins de contenção, acumulação ou decantação de rejeito de mineração ou descarga de sedimentos provenientes de atividades em mineração, com ou sem captação de água associada, compreendendo a estrutura do barramento e suas estruturas associadas.

O aumento da demanda de extração de minério na década de 1930, quando a mineração e a mitigação de seus impactos ambientais começaram a surgir, impulsionou as empresas a investirem na construção de barragens de rejeitos. As barragens construídas no início do século XIX geralmente eram projetadas transversalmente aos cursos d’água, com considerações limitadas apenas para inundações.

Conseqüentemente, quando fortes chuvas ocorriam, poucas destas barragens permaneciam estáveis. Raramente existiam engenheiros ou critérios técnicos envolvidos nas fases de construção e de operação. Somente na década de 1940, a disponibilidade de equipamentos de alta capacidade para movimentação de terras, especialmente em minas a céu aberto, tornou possível a construção de barragens de contenção de rejeitos com

técnicas de compactação e maior grau de segurança, de maneira similar às barragens convencionais (MELLO; PIASSENTIN, 2011).

Em áreas rurais utiliza-se a construção da barragem de terra para uma série de finalidades, destacando-se a irrigação, seguida de abastecimento da propriedade, criação de peixes, recreação, bebedouro, elevação de água por bombeamento, entre outros (CARVALHO, 2008). Segundo este autor e também Sthepens (2011), a construção da barragem deve obedecer a critérios básicos fundamentais de segurança, no entanto é comum encontrar em propriedades rurais barragens construídas sem nenhum dimensionamento técnico, assim se tornando estruturas com alto risco de rompimento.

Em todo o território nacional brasileiro a Lei nº 12.334/2010 mostra-se bastante útil e eficaz na gestão e na segurança de barragens. Nos estudos examinados nesta revisão apontaram-se também diretrizes para a construção de barragens de terra, probabilidades e estatísticas. Segundo relatório contendo dados no país (REF... ???), observa-se a ocorrência de três acidentes envolvendo barragens por ano, e ainda que 68 barragens apresentam algum risco estrutural. O documento aponta ainda que diversas estruturas e informações das barragens aparecem de forma incompleta, o que compromete a segurança de todos, principalmente das famílias que residem próximo a estas construções.

## 4. CONCLUSÃO

Sobre a segurança e construção de barragens no Brasil, o principal assunto abordado foi o dos cuidados necessários durante as etapas de lançamento e compactação de camadas para a execução de barragens de aterro. Um dos principais objetivos que foram abordados foi a questão da segurança na proteção construtiva e manutenção, propensas à ruptura. É de total importância que projetistas construtores e mantenedores tenham amplo conhecimento técnico sobre este tipo de estrutura para que seja garantida a segurança desse tipo de barragem. Observa-se que a ruptura de uma barragem gera consequências catastróficas, humanas e ambientais.

## 5. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES, Brasil) – código de financiamento 001. Os autores agradecem a Universidade de Brasília e o Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (ProfÁgua)- Projeto CAPES-ANA AUXPE N. 2717/2015, pelo suporte técnico, científico e financeiro até o momento.

]

## Referências

ABNT NBR 13028. **Elaboração e apresentação de projeto de disposição de rejeitos de beneficiamento, em barramento, em mineração**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1993)

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **Relatório de Segurança de Barragens**. Brasília – DF, (2020).

BRASIL. Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010. Política Nacional de Segurança de Barragens. CARVALHO, J.A. **Dimensionamento de Pequenas Barragens para Irrigação**. Lavras: Editora UFLA., (2008).

MELLO, F. M.; PIASENTIN, C. **A história das barragens no Brasil**. Rio de Janeiro: CBDB, (2011). STEPHENS, T. **Manual sobre Pequenas Barragens de Terra: Guia para a Localização, Projeto e Construção**. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/ba0081p/ba0081p.pdf>>. Acesso em: 20 fev. 2022.



# CAPÍTULO 14

## **RESIDENTIAL WATER FEEDING SYSTEM AUTOMATION BASED ON INTERNET OF THINGS**

**Aline Paula Canedo de Sales**

**Luiz Carlos Gomes Sacramento Junior**

**Raphael Basilio Pires Nonato**

## Abstract

The Internet of Things (IoT) has been widely applied over the last years, connecting system devices, thus leading to more simplified process controlling. In this paper, the automation of a residential water feeding system based on IoT is presented. The system was automated to provide water from the artesian well to the reservoir in the absence of a regular supply from the local supplier company. The ultrasonic sensor AJ-SR04M was applied to obtain the level of the reservoir, the flowmeter FS300A to monitor the water flow, the current transformer SCT-013 to evidentiate the pump operation, and a relay module to activate/deactivate the pump. To process the information, the low-cost ESP32 NodeMCU board is selected. ThingSpeak™ service platform was chosen for data viewing, Google™ Sheets was employed for data storage, and Telegram® application as an alarm system for pump status change. The output data can be accessed from any internet connected device. The automation allowed the remote management of the referred system, possibilitating the prompt water supply. Furthermore, its implementation can be extended to other residences with a similar system aiming at providing information and managing the water feeding process.

**Keywords:** Automation, Water feeding system, Internet of Things (IoT).

## 1. INTRODUCTION

Presently, the heterogeneity in potable water distribution is a concerning issue. According to data from United Nations (UN) reports, around 1.1 billion people worldwide are deprived of potable water, and more than 2 billion people deal with diseases due to absence of essential water services in 25% of the hospitals in the world (ANA, 2019; UN, 2019). In the context of an expanding demand and the need to save water, several consciousness actions have been implemented throughout last decades. Regardless of those, firstly, the knowledge of the amount consumed is needed. Secondly, the identification of the most demanding activities can be made by an effective monitoring. The collected information is the input to reduce the water consumption, as well as being used to warn about abnormalities (a leakage, for example). In view of this, alternatives should be provided in order to turn water feeding system more effective than the reading of the flowmeter commonly installed at the entrance of most of residences.

In this particular, Internet of Things (IoT) has been used as one of the available options. It is a network composed of physical objects (things) connected to the internet and inter-connected which communicate with each other (ORACLE, 2022) (CNCS, 2022). IoT has been extensively applied, to the point of becoming one of the most important technologies nowadays. This technology can be implemented to automate water supply in a residence, aiming at avoiding waste and promptly identifying existing leakages or opened valves for a relatively long time, for example.

Based on the application of IoT to monitor the residential consumption of water, the development of a device to monitor the hydraulic circuit of a building in real time was

presented (Rodrigues, 2019). The monitoring is made through a graphical user interface with the possibility to also access the historical data. As an example of process monitoring with IoT, a prototype of an automatic system to measure water consumption in apartments was developed, including a cost estimate based on current local fares (Carneiro, 2018). Another application of monitoring using IoT was made by means of a prototype of leakage detecting system constructed to identify water loss and distinguish which sensor types most contribute to leakage identification. The flowmeter was more efficient than the pressure sensor to detect the leakage (Leal, 2019).

IoT was also applied to monitor the electrical energy consumption of appliances via cloud application, in which electrical voltage and current were measured (Oliveira, 2019). By using IoT, software and hardware were developed to monitor the electrical energy in a residence to identify peaks in electrical energy consumption and detect possible problems in the electrical network (Wahlbrinck, 2018). A smart meter integrated to IoT was presented to monitor the electrical energy in residences through the measurement of voltage and electrical current (Romancini, 2020). A low cost automated system based on IoT was implemented in a residence to control the electrical charge. Electrical appliances are activated/deactivated according to the natural lighting through a relay module (Borges, 2019). A prototype of residential automated electric drives was used to control electrical devices. A monitoring and controlling system was designed to activate/deactivate these equipment (Santos and Renato, 2019).

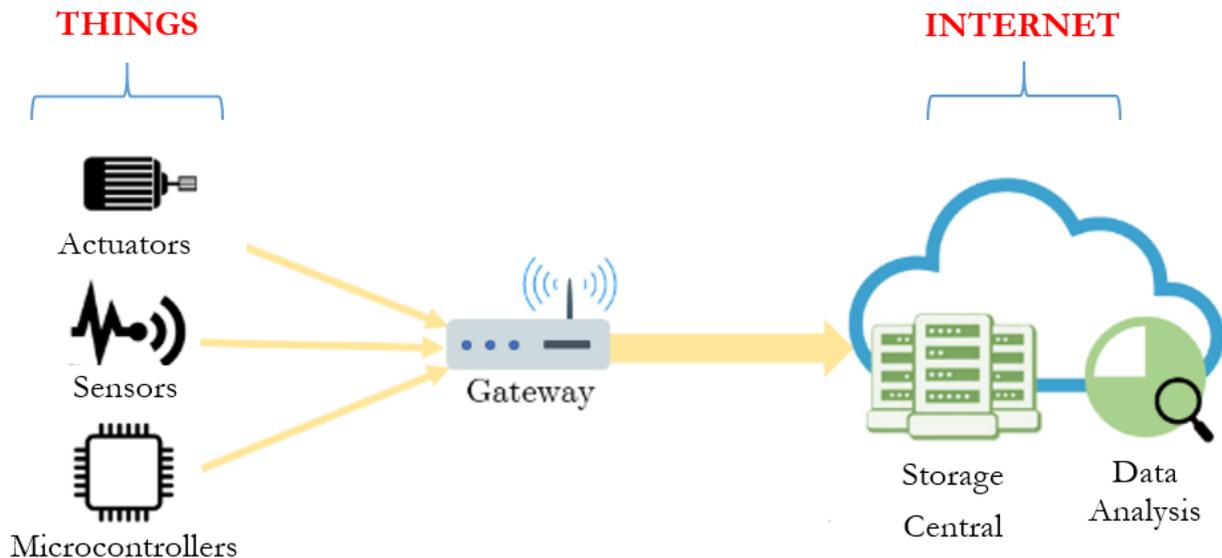
Therefore, this paper presents an implemented automation in a residential water supply system, combining hardware and software, in which a real time measurement of water flow, and water level are made. The information generated can be accessed from any internet connected device. Furthermore, when a low level of water is detected in the reservoir, the automation system automatically activates the pump to level up the water. The construction of this system allowed the automatic activation/deactivation of the pump based on minimum and maximum water levels. Thus, the application of the system presented herein can be spreaded-out to other system-like residences in a similar manner, intending to provide information, and, consequently, managing the water feeding process.

## 2. INTERNET OF THINGS (IoT)

It is composed of physical objects in a network (vehicles, sensors, equipment, etc.), connected to the internet and between each other. This allows the interconnected objects to send/receive data in real time (ORACLE, 2020). Consequently, these objects can be managed with or without direct human intervention, and are also able to gather and keep a great amount of data (CNCS, 2020). Thus, it is possible to provide interactivity between the objects, quicken tasks, predict events, make decisions in order to avoid undesired behavior, etc. The devices (sensors, actuators, microcontrollers, etc.) gather data, store it, and send it to a transitional equipment, the gateway, which is an entrance to the information exchange. These data are then delivered throughout the network to the cloud, where they can be evaluated. Other devices on the network (smartphones, tablets, computers, or other human-machine interfaces, HMIs) can provide access to the available cloud data.

One of the most prominent IoT protocols, MQTT (Message Queue Telemetry Trans-

port) is designed to provide machine-to-machine communication (M2M) and it is rested on transmission control protocol (TCP), which is one of the most applied protocols in industrial equipment because of its reliability in transmitting/receiving packages (Rodrigues, 2019). Therefore, MQTT assures the message delivery, and also the integrity of the message sent (sequence and non-corruption, for example). Fig. 1 illustrates the general arrangement of an IoT network.



**Figure 1.** IoT network arrangement.  
**Source:** own authorship (2022).

ThingSpeak™ consists of an analytics platform service for IoT which is capable of gathering, visualizing and analyzing, in real time, data from cloud connected devices. A microcontroller unit (MCU) is defined as a chip dotted with computer-like functions, being effectively functional (low energy expenditure, easy replacement, compact size), in spite of being a low cost device. Currently, a major trend is the use of microcontrollers in ready-made boards (Braga, 2021). One of the most used in IoT projects is the ESP32 NodeMCU platform.

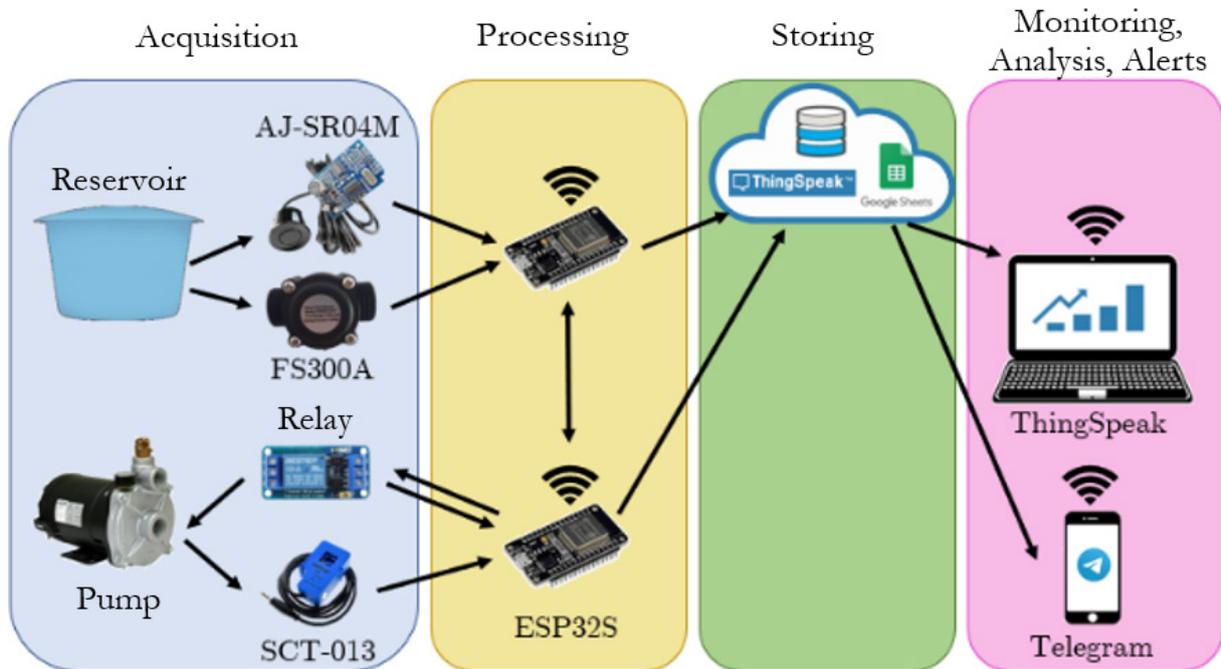
ESP-NOW protocol supports multiple devices to intercommunicate without the need for a Wi-Fi network, i.e. it is a connectionless communication technology (ESP-NOW, 2022). ESP-NOW features wireless connectivity (2.4 GHz low-power device, normally applied in wireless mice). Telegram® is a messaging application that establishes continuous cloud synchronization, which supports simultaneous access by multiple devices (Telegram, 2022). Telegram® has an open application programming interface (API), and the bots, which are programs that can be accessed within the application and can be developed through this API. They can send/receive instant messages and even respond to commands.

Sensors are sensible devices to one or more quantities in a system. They have elements sensitive to certain forms of energy, whether luminous, thermal, or kinetic. Therefore, they convert physical parameters, such as temperature, pressure, and level, into analog and digital signals (Thomazini and Albuquerque, 2020). The transducer is the device responsible for making the change between the signal received as input and the output signal to be received by the control circuit. Commonly, industrial instruments can be classified according to their functions and can be meters, indicators, registers, controllers, and alarms (Thomazini and Albuquerque, 2020).

Flowmeters are instruments that quantify liquid, gas, and solid flows in a cross section of a pipe (Omega, 2022). Level gauges are devices able to detect the presence of a certain content in the reservoir. Relay is a type of actuator that is characterized by being a switch, i.e. it can change electrical circuits by activating/deactivating them according to configured input conditions (Indusmelec, 2016).

### 3. RESIDENTIAL WATER FEEDING CONTROL SYSTEM

The residential water feeding control system is shown schematically in Fig. 2. The whole process includes data acquisition, processing, storing, and monitoring/analysis/alerts.



**Figure 2.** Process overview.  
**Source:** own authorship (2022).

#### 3.1 Flowmeter FS300A, ultrasonic sensor AJ-SR04M, and current sensor SCT-013

The flow sensor selected for the project was the FS300A model to meet the process' piping requirements of 3/4-inch. Its rotor speed varies according to the water flow, and then each revolution corresponds to an electrical pulse in a square wave form. Therefore, it is possible to obtain the flow rate from the number of pulses (Lousada, 2022).

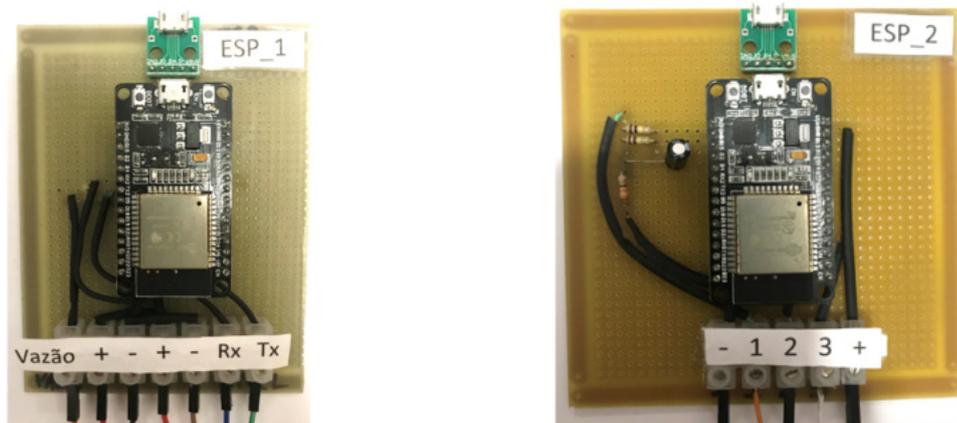
To measure the level in the reservoir, the waterproof ultrasonic sensor AJ-SR04M was selected (that can detect objects at a distance of up to 8 m). The operating principle of this sensor is based on the emission of ultrasonic pulses in the direction of the object (water), which are then reflected to the sensor. Through the reflection time of these signals, the distance is then calculated (Lemos, 2020). The referred module has a transmitter circuit and has four connection pins (Saravati, 2022).

The SCT-013 split-core current transformer consists of a non-invasive sensor that operates as an alternating current meter. The model selected for the project supports an input current of up to 100 A, besides having an output signal that can reach up to 50 mA.

### 3.2 ESP32 NodeMCU and Boards

Besides having the ESP-WROOM-32 microcontroller, the ESP32 NodeMCU board comprises a built-in antenna, a Universal Serial Bus (USB) universal serial port, GPIOs (General Purpose Input/Output) pins with pulse width modulation function (PWM), I2C (Inter-Integrated Circuit), SPI (Serial Peripheral Interface), UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter), and ADC (Analog to Digital Converter), and DAC (Digital to Analog Converter) (Usinainfo, 2022), (Mendonça, 2022).

To construct the flow and level monitoring circuit (Fig. 3a), a phenolite plate was selected as base, in which ESP32 was welded. Copper wires of 24 AWG (American Wire Gauge) were soldered to the pins that were used in ESP32 and, then, these wires were insulated with heat-shrink tubes and connected to a syndal connector. On the other end of this syndal, jumpers were connected to the sensors. To build the current monitoring and pump actioning circuit (Fig. 3b), the same procedure was performed, however a voltage divider was added to convert the SCT-013 sensor output such that the signal can be read by the ESP32 NodeMCU.



(a) Flow and Level Monitoring

(b) Current Monitoring and Pump Actioning

**Figure 3.** Constructed boards.

**Source:** own authorship (2022).

### 3.3 Relay module, pump, and reservoir

The module used to activate/deactivate the pump is composed by a relay, diode, transistor, and optocoupler, which protects the circuit from electrical discharges (Diego, 2022). The purchased board is capable of controlling voltages up to 250 Vac, 125 Vac, 30 Vdc and 28 Vdc with a current of 10 A. The voltage of the relay selected for the project is 3 Vdc.

The ejector pump is intended to capture water from deep locations, and has a single-phase squirrel-cage induction motor. It is responsible for pumping water from an 18-meter artesian well to a reservoir located on the slab of the residence. The following specification was adopted for the project: 1 horsepower, current 9.4 A, 0.83 power factor, and 127 V.

The existing reservoir is a 1750-liters water tank, with 1.39 meters height, 1.35 meters diameter, but due to its geometry, only a 1431-liters was considered for the system developed in this project. Water can be supplied in two ways: by the local water supplier company, and/or by pumping from an artesian well. Before the development of the current project, this second way has been done manually, i.e. once a lack of water was perceived, the pump was manually activated through a circuit breaker and turned off in the same way after a while (without knowing the water level).

### 3.4 Software for flow and level monitoring

A software for each microcontroller ESP32 NodeMCU is necessary. One for monitoring the level and outflow of the reservoir, and the other for activating/deactivating the pump, and monitoring its current consumption. Both were designed to communicate with each other through the ESP-NOW protocol and with the Wi-Fi network for sending and monitoring data. The platform used for writing and executing the codes was the IDE of Arduino®, which is an integrated environment with a language similar to C++.

The board for monitoring the level and flow of the reservoir outlet was called “ESP-1”, as seen in Fig. 4. It was configured to send level data and water flow to the second board, “ESP-2”, and to receive pump current, power and status values from it. “ESP-1” was selected as the main board. This means that it concentrates all monitored system parameters and sends them to the platform ThingSpeak™ and to Google® Sheets.

### 3.5 Software for current monitoring, pump actioning, and alarm system

The board to control the pump and collect data of current and power is the ESP-2 (Fig. 4). It, through communication via ESP-NOW with the ESP-1, receives data related to the reservoir level (by means of the variable that stores the distance between the ultrasonic sensor and the water level), and sends information about the pump, such as current, power, and status (on or off). In addition, ESP-2 was defined as the board responsible for sending notifications via Telegram® in the event of a pump state change. The low level is defined as 60% of the limited capacity of the reservoir (1431 liters), which was the value observed so that there was no lack of water in the residence and a not significant loss of pressure. The high level was defined as 90% of the reservoir capacity.

In order to know when the pump status changes without having to constantly monitor the data in real time, an alarm system was created using Telegram®. Whenever the

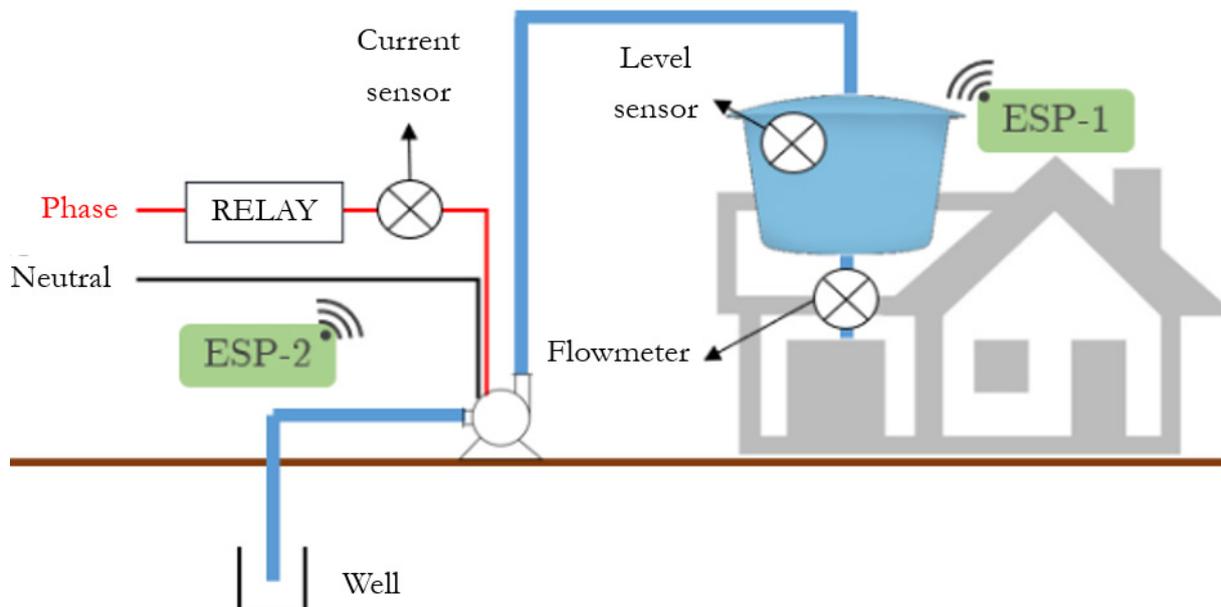
pump is turned on or off, the user can be informed about this action by receiving an instant message directly on an app-installed device.

### 3.6 Data collection and viewing

The platform chosen for the graphical visualization of generated data was ThingSpeak™. After the channel was configured in this platform, its unique access keys are obtained, which are necessary for the connection between the platform and the micro-controller. The monitored variables of the system and the connection to the ThingSpeak™ server were configured via the Arduino® IDE. For the indication of the status of the pump, a graph and a widget were added to the platform interface. This displays an icon representing an indicator lamp, which remains off while the pump is off and is activated when the pump is turned on. The current and active power data of the pump and the level, volume, and water output flow of the reservoir are also displayed on the screen through graphs and numerical displays.

### 3.7 Installation

The physical installation of the system was conducted in two stages: the ESP-1 plate (for monitoring the level and flow of water) was positioned close to the reservoir, on the slab of the house to receive the experiment. ESP-2, which purpose is to control the pump and monitor its current consumption, was arranged on the ground floor. Fig. 4 represents an overview of the installation of system components.

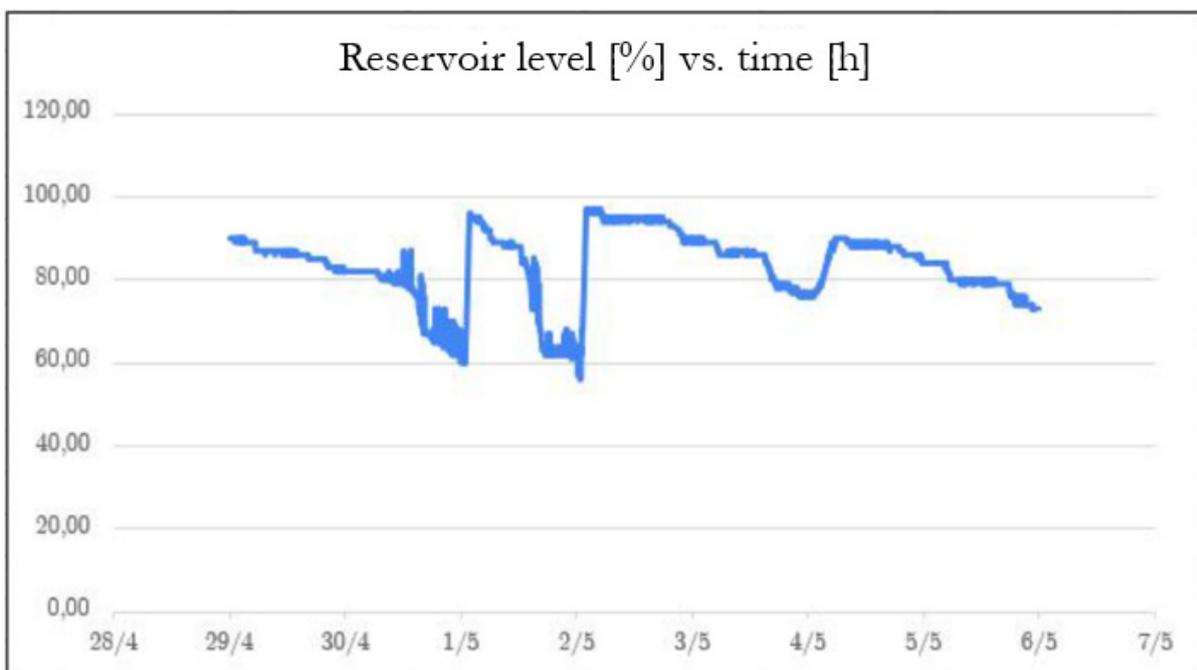


**Figure 4.** Project scheme by components.

**Source:** own authorship (2022).

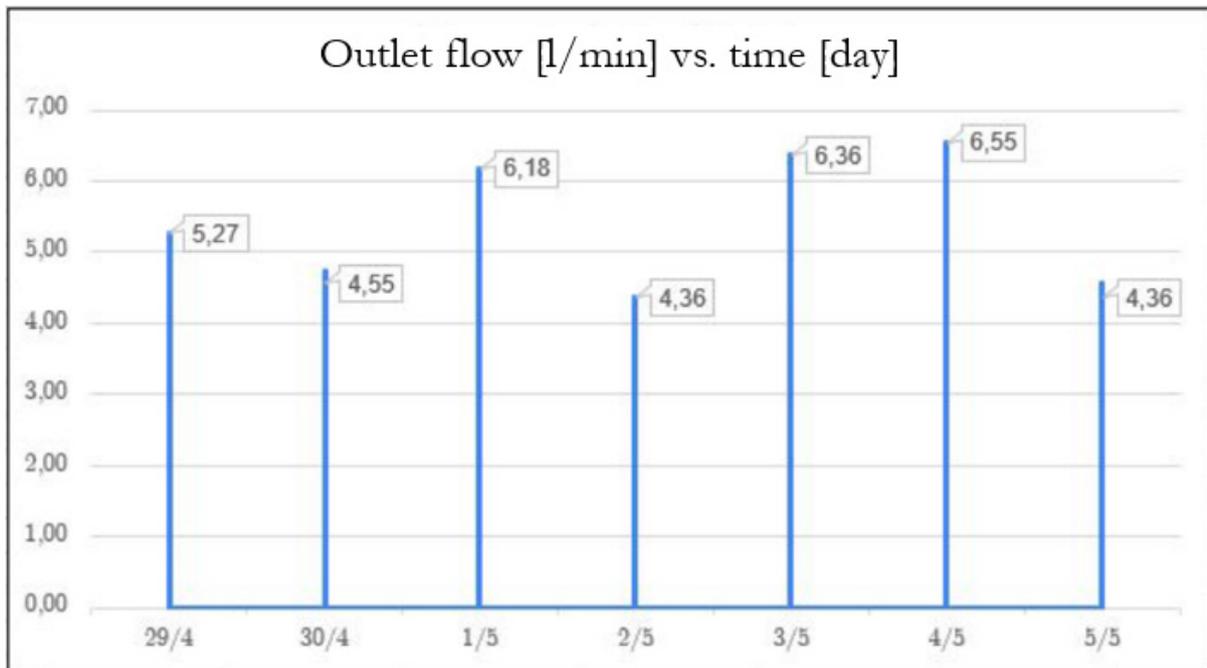
## 4. RESULTS AND DISCUSSION

In this section, the experimental results obtained from the installation of the system in a residence are presented and discussed. The monitoring was performed in a week time. Since 480 reading points are collected for each monitored parameter in one day, it is estimated that 3,360 measurements occur in a one-week period. Due to a great amount of data, it becomes more difficult to visualize them in the form of graphs. For this reason, scatter plots were used when there is constant growth or decay of values (reservoir level), and in the case of visualization of the maximum values measured each day for the variable that does not show much variation (outlet flow). Data analysis was based on consumption in 7 days, starting from the midnight of April 29<sup>th</sup>, 2022 until the last point measured on May 5<sup>th</sup>, 2022. Fig. 5 shows the scatter plot to visualize the level behavior, in percentage, of the water tank throughout one week. Note that there was a significant increase in volume only on May 1<sup>st</sup> (1/5), May 2<sup>nd</sup> (2/5), and May 4<sup>th</sup> (4/5).



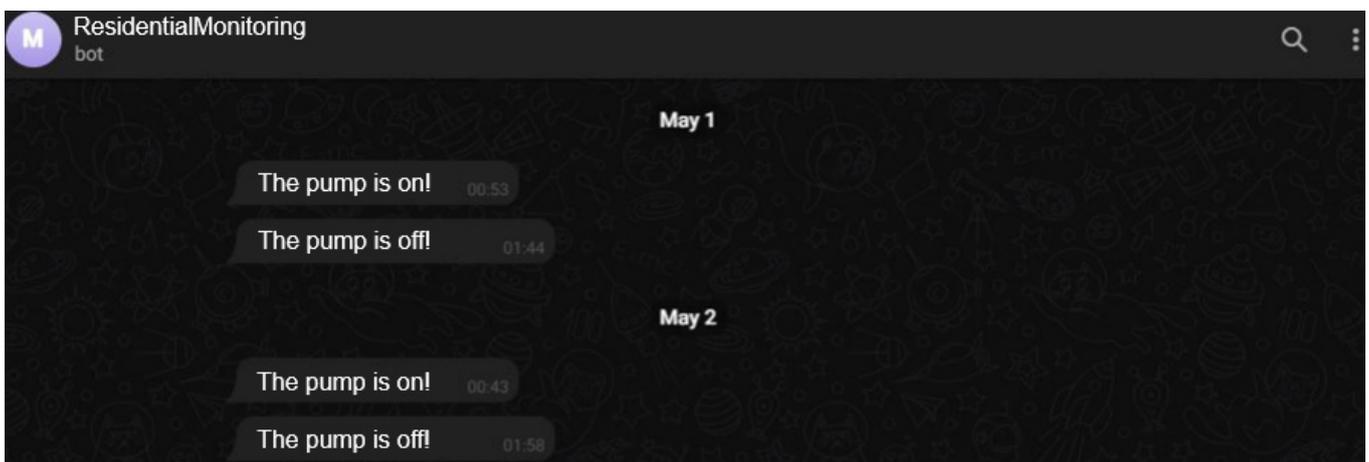
**Figure 5.** Reservoir level through time within a week.  
**Source:** own authorship (2022).

The maximum reservoir outflow, in liters per minute (l/min), recorded on each day of the analyzed period is shown in Fig. 6. From the plot, it can be observed that the highest value read was 6.55 l/min on May 4<sup>th</sup> (4/5), while May 2<sup>nd</sup> (2/5), and May 5<sup>th</sup> (5/5) had the same peak flow of 4.36 l/min.



**Figure 6.** Maximum outlet flow per day within a week.  
**Source:** own authorship (2022).

As can be observed in Fig. 7, the pump was only activated in two moments during the week, on May 1<sup>st</sup> (1/5), and May 2<sup>nd</sup> (2/5). Comparing this information with that presented in the graphs in Fig. 4 and Fig. 5, it is possible to note that, in three times in which there was an increase in the level of the reservoir during the analyzed period, only one of them was caused by the local water supply company. From the notifications on Telegram®, it is possible to observe the time in which the pump remained activated. In the case of May 1<sup>st</sup> (1/5), it was from 00h53min to 01h44min, i.e. it remained turned on for 51 minutes. With this information and the active power of the pump, it is possible to calculate its energy consumption.



**Figure 7.** Telegram® notifications throughout a week.  
**Source:** own authorship (2022).

## 5. CONCLUSIONS

From the results obtained, it can be concluded that the objective of automating a residential water feeding system based on internet of things was achieved. Additionally,

it was possible to monitor the behavior of water level in the reservoir, and water flow in the reservoir outlet, and also verify that there is no leakage on site. Moreover, the low frequency with which the reservoir was supplied by the local water supply company was observed, i.e. the main source of supply comes from the artesian well through the activation of the pump.

Aiming at improving the project, a more robust control of the pump is needed, so that it is activated only at times during the day when the local electricity fare is cheaper, which would bring reductions in the electric energy bill. It is also suggested to install flowmeters at other home water outlets so, in the event of leakage, it would be easier to identify its place of origin. Finally, in order to directly detect when the reservoir is being filled in by the local water supply company, it is recommended to install a flowmeter in this reservoir inlet.

## References

- ANA, Agência Nacional de Águas. "Falta de Água Potável no Mundo Aparece Relacionada a 80% das Mortes e Doenças", 2019. Available in: <<https://www.ana.gov.br/noticias-antigas/falta-de-a-gua-pota-vel-no-mundo-aparece>. 2019-03-14.1777251782>. Access in: Mar 26, 2022.
- Borges, E.A.D.O. "*Sistema de automação residencial utilizando a tecnologia ESP32 como alternativa de baixo custo*", Undergraduate Work, IFMG, Bambuí, 2019.
- Braga, N.C. "*O básico sobre os Microcontroladores – parte 1 (MIC139)*", 2021. Available in: <<http://newtonbraga.com.br/index.php/electronica/52-artigos-diversos/13263-o-basico-sobre-os-microcontroladores-parte-1-mic139>>. Access in: Feb 26, 2022.
- Carneiro, C.R. "*Desenvolvimento de um Protótipo de um Sistema Automático para Medição Individualizada de Água em Apartamentos*", Undergraduate Work, UFOP, Ouro Preto, 2018.
- CNCS, Centro Nacional de Cibersegurança. "A Internet das Coisas", 2020. Available in: <<https://www.cncs.gov.pt/a-internet-das-coisas-iot-internet-of-things/>>. Access in: Feb 22, 2022.
- Diego, G. "*Circuito de interface para microcontroladores*", 2022. Available in: <<https://www.embarcados.com.br/circuito-de-interface-para-microcontroladores/>>. Access in: Mar 3, 2022.
- ESP-NOW. "*ESP-NOW Overview*", 2022. Available in: <<https://www.espressif.com/en/products/software/esp-now/overview>>. Access in: Feb 7, 2022.
- Indusmelec. "*Relés*", 2016. Available in: <<http://www.indusmelec.pt/newsletter/22/Reles.pdf>>. Access in: Feb 10, 2022.
- Leal, G.F. "*WaterManna: a IoT na gestão de recursos hídricos*", Dissertation, UEM, Maringá, 2019.
- Lemos, M.F. "*Sensor de distância a laser – Time-of-Flight (ToF)*", 2020. Available in: <<https://www.embarcados.com.br/sensor-de-distancia-a-laser-time-of-flightof/>>. Access in: Mar 6, 2022.
- Lousada, R. "*Guia prático do Sensor de Fluxo de Água*", 2022. Available in: <<https://blog.eletrogate.com/sensor-de-fluxo-de-agua/>>. Access in: Mar 15, 2022.
- Mendonça, H.S. "*SPI e I2C*", 2022. Available in: <<https://paginas.fe.up.pt/~hsm/docencia/comp/spi-e-i2c/>>. Access in: Apr 5, 2022.
- Oliveira, I.F.D. "*Desenvolvimento de um sistema de automação residencial baseado em IoT para controle e monitoramento de dispositivos elétricos*", Undergraduate Work, UFOP, Ouro Preto, 2019.
- Omega. "*Medidores de Vazão*", 2022. Available in: <<https://br.omega.com/prodinfo/medidores-de-vazao.html>>. Access in: Jan 26, 2022.

ORACLE. "O que é IoT?", 2020. Available in: <<https://www.oracle.com/br/internet-of-things/what-is-iot.html>>. Access in: Feb 25, 2022.

Rodrigues, G.F. "*Desenvolvimento de um Sistema de Automação Predial para Gestão e Monitoramento em Tempo Real do Sistema Hidráulico*", Undergraduate Work, UFOP, Ouro Preto, 2019.

Romancini, E.M.R. "*Desenvolvimento de Smart Meter integrado com IoT para monitoramento da energia elétrica em residências*", Undergraduate Work, UFSC, Araranguá, 2020.

Santos, J.W., Renato, C.D.L.J. "*Sistema de automatização residencial de baixo custo controlado pelo micro-controlador esp32 e monitorado via smartphone*", Undergraduate Work, UTFPR, Ponta Grossa, 2019.

Saravati. "*Módulo Sensor Ultrassônico Impermeável JSN-SR04T/AJSR04M*", 2022. Available in: <<https://www.saravati.com.br/modulo-sensor-ultrassonico-impermeavel-jsn-sr04taj-sr04m>>. Access in: Mar 5, 2022.

Telegram. "*Frequently Asked Questions*", 2022. Available in: <<https://telegram.org/faq#p-o-que-e-telegram-o-que-faco-aqui>>. Access in: Feb 4, 2022.

Thomazini, D.; Albuquerque, P.U.B.D. "*Sensores industriais: fundamentos e aplicações*", 9ª ed., Saraiva Educação, São Paulo, 2020.

UN, United Nations. "Falta de Água e Saneamento Deixa Milhões de Vidas em Risco no mundo, diz OMS", 2019. Available in: <<https://nacoesunidas.org/falta-de-agua-e-saneamento-deixa-milhoes-de-vidas-em-risco-no-mundo-diz-oms>>. Access in: Mar 27, 2022.

Usinainfo. "*ESP32 NodeMCU Iot com WiFi e Bluetooth - 30 Pinos*", 2022. Available in: <<https://www.usinainfo.com.br/nodemcu/esp32-nodemcu-iot-com-wifi-e-bluetooth-30-pinos-5147.html>>. Access in: Apr 5, 2022.

Wahlbrinck, A.J. "*Monitoramento da rede elétrica por meio de aplicação WEB e IOT*", Undergraduate Work, UNIVATES, Lajeado, 2018.

# AUTORES<sup>1</sup>

---

1 Currículo vide Lattes / LinkedIn

### **Aline Domingues Gomes**

Possui graduação em Engenharia Química (2016) e mestrado em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá (2019). Aluna de doutorado na área de Catálise. Realizou pesquisas na área síntese de zeólitas e reforma do etanol com vapor d'água.

### **Aline Paula Canedo de Sales**

Graduação em andamento em Engenharia de Controle e Automação, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, CEFET/RJ, Brasil.

### **Amanda Medeiros Marques**

Doutora (2015) e mestra (2010) em Bioquímica e Biologia Molecular pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Durante o seu doutorado realizou um estágio supervisionado pelo Dr. Robert Fuchs no Centre de Recherche en Cancérologie de Marseille (CRCM), França, participando de um projeto de caracterização de DNA glicosilases em cana-de-açúcar. Durante a pós-graduação trabalhou em pesquisas relacionadas ao reparo de DNA e à floração em cana-de-açúcar. Graduada em Ciências Biológicas Licenciatura (2007) e Bacharelado (2008) também pela UFRN.

### **Ana Laura Nunes da Silva**

Graduação em andamento em Ciências Biológicas, Universidade Federal do Vale do São Francisco, UNIVASF, Brasil.

### **Ana Paula Barbosa Sobral**

Possui graduação em Ciências Estatísticas pela Escola Nacional de Ciências Estatísticas (1993), mestrado em Engenharia Elétrica pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (1999) e doutorado em Engenharia Elétrica pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (2003), com doutorado sanduíche na Université de Liège (Bélgica). Tem experiência nas áreas de Engenharia e Saúde, com ênfase em Método de Apoio a Decisão, atuando principalmente nos seguintes temas: modelagem estatística, séries temporais, machine learning, controle estatístico de processo e lean healthcare.

### **Anderson Bentes de Lima**

Graduado em Farmácia pela Universidade Federal do Pará (2004), mestrado em Ciências Farmacêuticas pela Universidade Federal do Pará (2008) e doutorado em Biotecnologia pela Universidade Federal do Pará (2016). Atualmente é professor adjunto I da Universidade do Estado do Pará. Docente do programa de Mestrado Profissional profissional em Cirurgia e Pesquisa Experimental e do Programa de Pós-graduação de Ensino em Saúde da Amazônia. É integrante do Laboratório de Morfofisiologia Aplicada à Saúde, onde desenvolve pesquisa na área de farmacologia de plantas medicinais e drogas sintéticas. Também desenvolve pesquisa na área de toxicologia. Pertence ao grupo de pesquisa Morfofisiologia: Ensino e Pesquisa Aplicada a Saúde. Membro efetivo da Sociedade Brasileira de Farmacologia e Terapêutica Experimental. Membro do Banco de Avaliadores do Sistema Nacional de Avaliação da Educação Superior - BASis (MEC). Consultor da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) na área de ensino.

### **Anne Beatriz Ferreira da Costa**

Graduação em andamento em Engenharia de Produção, Universidade Federal Fluminense, UFF, Brasil.



### **Camila Pereira Giroto**

Possui graduação em Engenharia Química pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná (2016), graduação em formação pedagógica docente - matemática pela Faculdade Educacional da Lapa (2018) e mestrado em Engenharia Química pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná (2019). Atualmente faz doutorado em engenharia química na Universidade Estadual de Maringá e é Professor Auxiliar da Universidade Paranaense. Tem experiência na área de tratamento de efluentes por fotocatalise e adoração e em docência de ciências exatas para ensino fundamental, médio e superior. Também já atuou como docente de disciplinas de Engenharia na Universidade Estadual de Maringá (UEM) entre 2020 - 2022.

### **Carlos José Sousa Passos**

Graduado em Ciências Biológicas pela Universidade Federal do Pará (UFPA), mestre e doutor em Ciências Ambientais com ênfase em saúde ambiental pela Universidade de Quebec em Montreal (UQÀM, Canadá), e pós-doutor em toxicologia ambiental pela Universidade de São Paulo (USP). Tem experiência na área de avaliação de riscos assim como análise de efeitos tóxicos precoces ligados à exposição humana a poluentes ambientais. É Professor Associado III da Universidade de Brasília (UnB), atuando em nível de graduação (Gestão Ambiental) e Pós-Graduação, tanto na Faculdade UnB Planaltina (PPGMader - Mestrado Acadêmico em Meio Ambiente e Desenvolvimento Rural do qual foi Coordenador 2012-2013/2014, e ProfÁGUA - Mestrado Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos), quanto no PPG do Centro de Desenvolvimento Sustentável (CDS/UnB, Nota 7 na área de Ciências Ambientais da CAPES). É Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq e figura dentre os 155 cientistas da UnB incluídos na lista dos 10.000 pesquisadores mais influentes da América Latina (AD Scientific Index 2022), sendo autor/coautor de mais de 55 artigos publicados em revistas científicas nacionais e internacionais, com um total de 1.623 citações na plataforma Web of Science (índice-H 20), 2.025 citações na plataforma Scopus (índice-H 23), 3.328 citações na plataforma Google Acadêmico (índice-H 26), além de 3.206 citações na plataforma ResearchGate (índice-H 29). É co-organizador de 1 livro, autor/coautor de 11 capítulos de livro, além de mais de 50 resumos em anais de congressos científicos. É Editor Associado da Revista Acta Amazonica (INPA, MCTI) e revisor de mais de 45 periódicos científicos de grande leitorado e impacto nacional e internacional. Já atuou como membro da Câmara de Assessoramento Científico da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM 2017/2018), e atualmente é Consultor Científico da Fundação de Apoio à Pesquisa do Distrito Federal (FAPDF). Atuou como Secretário Executivo da Associação Internacional para Ecologia e Saúde (atualmente Ecohealth International) - <https://www.ecohealthinternational.org> - de 2009 a 2014, é membro da Comunidade de Prática em Abordagens Ecosystemáticas à Saúde Humana na América Latina e Caribe (CoPEH-LAC), e atua no segmento acadêmico-científico do Comitê Permanente de Implementação da Convenção de Minamata no Brasil, no âmbito da Comissão Nacional de Segurança Química (Conasq), em Brasília (DF).

### **Clemilson Wagner de Sousa Martins**

Possui graduação em Ingegneria Energetica - Università di Bologna (2014) e graduação em Engenharia Hídrica pela Universidade Federal de Itajubá (2016). Tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em Engenharia Hídrica, atuando principalmente nos seguintes temas: aplicação da engenharia hídrica na mineração, hidráulica e hidrologia de reservatórios, simulação e modelagem computacional em CFD e rompimento de barragens (dam-break).

### **Danilo de Sena Trindade**

Graduação em andamento em Engenharia de Produção, Universidade do Estado do Pará, UEPA, Brasil.

### **Edilaine Martins Soler**

Possui graduação em Bacharelado em Matemática pela Universidade de São Paulo (2005), graduação em Licenciatura em Matemática pela Universidade de São Paulo (2007), mestrado em Ciências da Computação e Matemática Computacional pela Universidade de São Paulo (2008) e doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo (2011). Atualmente é Professor Assistente Doutor na Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Bauru). É docente permanente do programa de Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção e do Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica desta universidade. Também é docente colaboradora no programa de mestrado em Matemática Aplicada e Computacional. Tem experiência na área de Otimização, atuando principalmente nos seguintes temas: programação inteira, programação não linear, problema de Fluxo de Potência Ótimo, otimização energética em sistemas de abastecimento, e demais problemas da área de energia.

### **Erika Carolina da Silva Marques**

Graduação em Ciências Biológicas, Universidade do Grande Rio, UNIGRANRIO, Brasil. Graduação em andamento em Farmácia, Centro universitário Maurício de Nassau - Recife, UNINASSAU, Brasil. Professora de ciências do Colégio Imaculado Coração de Maria, Brasil.

### **Felippo Bammaro Pinheiro**

Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Brasil. Bolsista da Capes pelo programa BRAFITEC.

### **Fernanda da Silva Macedo**

Graduação em andamento em Ciências Biológicas, Universidade Federal do Vale do São Francisco, UNIVASF, Brasil.

### **Flávio Silva Machado**

Graduação em Licenciatura Em Matemática pela Fundação Educacional Rosemar Pimentel (2000), graduação em Engenharia Metalúrgica pela Universidade Federal Fluminense (1991), Mestrado e Doutorado em Ciências Ambientais e Florestais pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (2002 e 2009). Atualmente é professor da Universidade Federal Fluminense no Instituto de Ciências e Tecnologia de Rio das Ostras. Já atuou como professor na Escola Técnica Pandiá Calógeras, Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro, Centro Universitário de Volta Redonda e Centro Universitário de Barra Mansa. Tem experiência nas áreas de Engenharia de Materiais/Metalúrgica e Meio Ambiente, com ênfase em Gestão Ambiental, Energias Renováveis e Resíduos Industriais. Atuando principalmente nos seguintes temas: Energias Renováveis, Gestão Ambiental, Manutenção e Resíduos Industriais e Urbanos.

### **Frederico de Castro Neto**

Possui graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (2012). Atualmente é Engenheiro de Desenvolvimento de Processos da Empresa Brasileira de Aeronáutica. Tem experiência na área de Robótica, Mecatrônica e Automação.



### **Gabriela Gomes Gonçalves**

Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Brasil.

### **Gabriela Rincon Ligoski**

Engenheira Ambiental, Especialista em Geoprocessamento Ambiental e Mestranda em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - Profágua. Atuei como consultora na área de licenciamento ambiental e posteriormente como analista ambiental na Secretaria Municipal de Meio Ambiente, Saneamento e Recursos Hídricos de Cristalina. Atualmente estou como Secretária Municipal da referida pasta, coordenando as atividades de licenciamento ambiental e fiscalização, bem como na elaboração de programas e políticas públicas no âmbito da gestão municipal. Membro titular do Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba e Membro titular do Comitê de Bacia Hidrográfica dos Rios Corumbá, Veríssimo e porção goiana do São Marcos.

### **Gabriele Soares dos Santos**

Graduação em andamento Engenharia Civil, UFMG, Belo Horizonte, Brasil.

### **Giuliana Moreti Batista**

Graduação em andamento em Engenharia de Produção, Universidade Federal Fluminense, UFF, Brasil.

### **Gustavo Vaz de Mello Guimarães**

Possui graduação em Engenharia Civil pela Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro (2004), mestrado (2007) e doutorado (2015) em Engenharia Civil, com ênfase em Geotecnia, pela COPPE/UFRJ. Trabalhou na iniciativa privada nas áreas de projetos e supervisão de fundações, investigações geotécnicas, estruturas, drenagem e terraplenagem. Já como servidor, foi engenheiro civil no laboratório de Mecânica dos Solos Professor Fernando Emmanuel Barata da Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Atualmente é Professor Adjunto do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio de Janeiro, no polo de Macaé. Atua em Engenharia Civil, na Área de Geotecnia, com ênfase em Fundações, Ensaios In Situ, Ensaios em Laboratório e Instrumentação. Pesquisador do Laboratório de Ensaios de Campo e Instrumentação Professor Marcio Miranda Soares, um dos Laboratórios associados ao Laboratório de Geotecnia Professor Jaques de Medina da COPPE/UFRJ. Ultimamente se dedica a fabricação e ensaios com tijolos de solo-cimento utilizando solo proveniente da cidade de Macaé.

### **Hugo Santos de Assis**

Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Brasil.

### **Iasmin de Souza Silva**

Graduanda em Ciências Biológicas na Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF) - Campus Ciências Agrárias. Bolsista do Programa de Educação Tutorial PET Conexões de Saberes - Saneamento Ambiental (UNIVASF). Secretária geral da Liga Acadêmica de Saúde e Biotecnologia (LASBTech). Membro dos grupos de pesquisa: GEIS - Grupo de Estudos Integrados do Semiárido (UNIVASF), e Saneamento Ambiental em Meios Rural e Urbano no Vale do São Francisco (UNIVASF).

### **Isabelle Cristina Antunes Thomaz**

Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Brasil.

### **Ivete Furtado Ribeiro Caldas**

Graduada em Fisioterapia pela Universidade do Estado do Pará (UEPA); Especialista em Fisioterapia Respiratória Pediatria e Neonatal pela Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP); Especialista em Fisioterapia em Terapia Intensiva em Neonatologia e Pediatria pelo Conselho Federal de Fisioterapia e Terapia Ocupacional (COFFITO); Mestrado em Pesquisa e Teoria do Comportamento e Doutorado em Neurociências e Biologia Celular pela Universidade Federal do Pará (UFPA). Membro da Unidade Regional Pará da ASSOBRAFIR. Docente e coordenadora do Laboratório de Desenvolvimento Infantil (LADIN) da Universidade do Estado do Pará (UEPA - Campus Cametá). Atualmente é professor Adjunto I da Universidade do Estado do Pará (UEPA). Docente permanente dos Programas de Pós-graduação Mestrado Profissional Cirurgia e Pesquisa Experimental (CIPE) e Ensino e Saúde na Amazônia (ESA) CCBS/UEPA. Líder do grupo de pesquisa Saúde e Interdisciplinaridade na Amazônia. Atua principalmente nos seguintes temas e linhas de pesquisa: Desenvolvimento cerebral, neurociência e educação, comportamento infantil; interação mãe-bebê e fisioterapia cardiorrespiratória e estimulação precoce.

### **Jhenefe Neves Medeiros**

Graduação em Ciência e Tecnologia, Universidade Federal do Maranhão, São Luís - MA.

### **Kyook Isabel Portilho dos Santos**

Possui Graduação em Licenciatura Plena em Ciências Naturais habilitação em Química pela Universidade do Estado do Pará (2012). Mestrado Acadêmico (2017) e Doutorado Acadêmico (2021) em Química Orgânica pelo Programa de Pós-Graduação em Química (PPGQ) da Universidade Federal do Pará (UFPA). Apresenta experiência na docência do Ensino Superior, atuando como Professor Externo da UFPA / Campus Breves. E atualmente faz parte do quadro de professores da Universidade do Estado do Pará (UEPA - Campus Cametá). Tem experiência na área de Química, com ênfase em Química dos Produtos Naturais, atuando principalmente nos seguintes temas: Fitoquímica, Metabolômica e Cromatografias Clássicas e Modernas (CCD, CCVU, CLAE, CCDAE, CCDP, CG, HSCCC dentre outras). Além do domínio de Técnicas Espectroscópicas para a Elucidação Estrutural de Moléculas Orgânicas como: Ressonância Magnética Nuclear e Espectrometria de Massas.

### **Léony Luis Lopes Negrão**

Graduação em Engenharia de Produção pela Universidade do Estado do Pará (2003), mestrado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Pará (2009), doutorado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de São Carlos (2016) e pós-doutorado em lean manufacturing e indústria 4.0 na Universidade Federal de São Carlos (em andamento). Atualmente é Professor Adjunto I do Departamento de Engenharia de Produção. E também já atuou como Pró-Reitor de Gestão e Planejamento (2013 - 2014) e Diretor de Planejamento Estratégico (2017-2021) da Universidade do Estado do Pará, além de outros cargos de gestão. Tem experiência na área de Engenharia de Produção, com ênfase em Planejamento, Projeto e Controle de Sistemas de Produção, e Engenharia Econômica, atuando principalmente nos seguintes temas: PCP, Lean Manufacturing, Gestão de Estoques, Gestão de Custos e Avaliação de Projetos. Possui artigos publicados em journals com alto fator de impacto (JCR), dentre eles, Production Planning and Control e Management Decision.

### **Leticia Mendonça Cardoso**



Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Brasil.

### **Liderlânio de Almeida Araújo**

Bolsista de Desenvolvimento Científico Regional do CNPq - Nível C atuando no Instituto Federal do Ceará - Campus Limoeiro do Norte, Doutor em Biotecnologia pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) - RENORBIO. Mestre em Saúde Humana e Meio Ambiente, pelo Centro Acadêmico de Vitória (CAV - UFPE). Graduado em Química pela Universidade Católica de Pernambuco (UNICAP). Atua como pesquisador na área de Produtos Naturais, Laticínios, Radiação em alimentos e Ensino de Química.

### **Lucas Akio Kanda**

Graduação em andamento em Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, UEM, Brasil.

### **Lucas Almeida Sá**

Graduação em Ciência e Tecnologia, Universidade Federal do Maranhão, São Luís - MA.

### **Lucas David Enoque Angelo da Silva**

Graduação em andamento em Engenharia Agrícola e Ambiental, Universidade Federal do Vale do São Francisco, UNIVASF, Brasil. Bolsista PET Saneamento Ambiental.

### **Lucas Fontenele Ramos**

Graduação em Ciência e Tecnologia, Universidade Federal do Maranhão, São Luís - MA.

### **Lucas Marques Pires da Silva**

Mestrando em Geotecnia na COPPE/UFRJ. Graduado em engenharia civil na UFRJ com ênfase na área de geotecnia. Estágio de um ano em ensaios de laboratório e de campo na área geotécnica. Iniciação científica na área de solos e em equações diferenciais. Cursos de HTML e Fundamentos de rede na fundação Bradesco. Python, Pacote Office, Revit, Autocad e Topography em nível intermediário, Machine Learning e Inteligência artificial em nível básico. Monitor de cálculo I para graduação em engenharia por um ano, monitor de cálculo I e II para graduação em biologia por um ano e monitor para mestrado em engenharia civil por dois períodos. Atualmente, atuo como professor substituto na UFRJ na área de geotecnia.

### **Lucas Moraes Gomes**

Graduação em andamento em licenciatura plena em química, Universidade do Estado do Pará, UEPA, Brasil.

### **Luciene Oliveira Menezes**

Engenheira civil desde 1998, mestre em Geotecnia pela Universidade Federal de Minas Gerais (2011) e especialista em gestão de negócios também pela UFMG (2000). Iniciou o doutorado em geologia aplicada, tema sobre gestão de riscos em áreas urbanas, em agosto de 2017 no Instituto de Geociências da UFMG, em cotutela com a Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, tendo sido aprovada na defesa de tese em dezembro de 2021, obtendo a dupla titulação de Doutora em Geologia e Doutora em Engenharia Civil com especialidade em Geotecnia. Tem experiência na área de coordenação e atuação técnica em projetos de linhas de transmissão de energia, consultorias e projetos geotécnicos

e ambientais tais como: prevenção e mitigação de riscos, recuperação de áreas degradadas e erodidas, requalificação ambiental, estabilização de encostas e taludes, barragens de retenção de cheias, barragens de rejeito, pilhas de estéril, rejeito e cavas de mineração; elaboração de cartas de risco para pilhas e diques de contenção de sedimentos; proteção superficial e estabilização de taludes; acompanhamento e análise de ensaios geotécnicos. Trabalhou na URBEL - Cia Urbanizadora de Belo Horizonte, na fiscalização de obras em vilas e favelas incluindo áreas de risco geológico-geotécnico. Atualmente é docente da PUC Minas, lecionando na área de mecânica dos solos, ensaios e Geotecnia ambiental para o curso de graduação em engenharia civil, contudo em licença. Lecionou na pós-graduação lato sensu em Geotecnia da PUC Minas até 2018/2. Coordenou um projeto de extensão de assessoria para prevenção e mitigação de riscos ambientais junto à Defesa Civil de Contagem, bem como orientou trabalhos de conclusão de curso da especialização e alunos de iniciação científica e extensão. Pesquisadora convidada da Universidade Federal de Viçosa e, em Portugal, membro do Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento CONSTRUCT-GEO do Dep. Eng<sup>o</sup> Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

### **Lúcio Flávio de Souza Villar**

Graduação em Engenharia Civil, mestrado em Engenharia Civil, doutorado em Engenharia Civil - Departamento de Engenharia Civil da PUC-Rio e Pós-Doutorado na University of Texas at Austin, USA. Atualmente é professor associado em regime de dedicação exclusiva no Departamento de Engenharia de Transportes e Geotecnia da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em Geotecnia Ambiental, atuando principalmente nos seguintes temas: ensaios geotécnicos de laboratório e de campo, disposição de resíduos de mineração, solos não saturados.

### **Luiz Antônio de Oliveira Chaves**

Graduado em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ/1994), mestre em Sistemas de Gestão de Ambiental pela UFF - Universidade Federal Fluminense (2004) e doutorando na área de Engenharia de Processo pela Universidade Estadual do Rio de Janeiro (UERJ). Possui experiência no gerenciamento executivo de projetos nos segmentos de E&P, manufatura e indústrias de transformação, com atividades realizadas de consultoria e P&D para análise de processos e ações de prevenção de perdas. Completa o perfil, a experiência acadêmica ministrando disciplinas de engenharia de poços, elevação e produção de petróleo, modelagem e simulação de sistemas ambientais e operações industriais para estudo de processos da indústria química e segurança. O atual interesse de pesquisa contempla estudos de engenharia de processos químicos, análise de riscos e meio ambiente que envolvam prevenção de perdas.

### **Luiz Carlos Gomes Sacramento Junior**

Doutorando no Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Ciências do Solo (PPGA-CS) na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Mestre em Engenharia Elétrica pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica (PPEEL) do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca CEFET/RJ (2016). Graduado em Engenharia Industrial de Controle e Automação - CEFET/RJ (2011) e Licenciado em QUÍMICA pela Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF (2009). Possui experiência na área de Química, com ênfase em Química dos Produtos Naturais, experiência em Instrumentação e automação/controle de processos industriais, processamento de sinais digitais ênfase em filtragem de sinais de Eletroencefalografia (EEG). Atualmente desenvolvendo pesquisas em Solos (Agricultura 5.0), Instrumentação Industrial & Eletrônica, e Energia Solar.



### **Marcos de Souza**

Graduação, mestrado e doutorado em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá, concluídos, respectivamente, em 1991, 2003 e 2007. Professor na Universidade Estadual de Maringá (Paraná). Tem experiência na área de Engenharia Química, com ênfase em catálise e reatores de microcanais, atuando principalmente nos seguintes temas: reforma de etanol com vapor d'água, fotocatalise e modelagem e simulação de processos.

### **Maria Helena Teixeira da Silva**

Licenciatura Plena em Matemática pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1982), mestrado em Engenharia de Produção (1994) e doutorado em Engenharia de Sistemas e Computação (2002) ambos pela Coordenação dos Programas de Pós Graduação em Engenharia da UFRJ (COPPE/UFRJ). Atuou como professora adjunto da Universidade Federal Fluminense (UFF) no Campus Universitário de Rio das Ostras, no Instituto de Ciência e Tecnologia, junto ao curso de Engenharia de Produção. Leciono disciplinas nas seguintes áreas de conhecimento: Metodologia da Pesquisa Científica, Propriedade Intelectual, Redação Científica e Ética. De 2004 a 2013 atuei como diretora do Escritório de Transferência de Conhecimento (Etc), setor responsável pela gestão da propriedade intelectual da UFF.

### **Mariana Pereira Carneiro Barata**

Possui graduação em Engenharia de Produção pela Universidade do Estado do Pará (2008), mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná (2009) e doutorado em Engenharia de produção pela Universidade Federal de São Carlos (2017). Atualmente é Professora Assistente IV da Universidade do Estado do Pará. Tem experiência na área de Engenharia de Produção, com ênfase em Gestão da Qualidade, Sistemas de Medição de Desempenho e Gestão de Serviços.

### **Mateus Carvalho Amaral**

Professor Adjunto da Universidade Federal Fluminense (UFF), do Departamento de Engenharia (REG), do Instituto de Ciência e Tecnologia (ICT) de Rio das Ostras-RJ. Pesquisador do Laboratório de Engenharia de Materiais, Manutenção e Meio ambiente (L3MA). Doutor em Engenharia e Ciências dos Materiais pela Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF). Mestre em Engenharia e Ciências dos Materiais pela UENF. Graduado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais pela UENF. Experiência na área de tecnologia, manutenção, inspeção e reparo de dutos rígidos e flexíveis submarinos.

### **Michel Moreira Morandini Fontes**

Engenheiro Civil pela Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, mestre em Geotecnia pela mesma instituição, Master of Quality pelo Latin American Quality Institute. Como profissional técnico, atuante na área de geotécnica aplicada a mineração desde 2001, possui experiência com o desenvolvimento de projetos nas áreas de geotecnia de barragens, orçamentos, planejamento e administração de obras, consultoria e auditoria ambiental. Dedicou-se nos últimos anos ao desenvolvimento de projetos de apoio e infraestrutura à mineração (pilhas, barragens) e elaboração de plano de segurança em barragens e inspeções regulares de segurança de Barragens. Como pesquisador, atua nas áreas Geotecnia Urbana, tendo como trabalho de maior expressão a Carta Geotécnica de Ouro Preto - MG, definindo as áreas de influência de riscos de eventos geotécnicos no perímetro urbano da cidade de Ouro Preto. Responsável pelo desenvolvimentos de estudos e pesquisas com rejeitos de mineração, responsável técnico por diversos projetos de barragens de rejeito no Brasil e Peru, tendo como trabalhos de relevância, projetos de engenharia deta-

lhada das Barragens B1, B2 do complexo a Manabi localizado em Morro do Pilar, estudos para realização de empilhamento drenado desta mesma empresa, estudos de disposição de rejeitos para Miski Mayo, localizada no deserto de Sechura, na província de Sechura, no departamento de Piura, Peru. Sistemas de Coo-disposição de rejeito oriundas do processo de beneficiamento de níquel, de propriedade da Mirabela Mineração do Brasil, Responsável pela implementação de diversos programas de segurança de Barragens para diversos complexos minerários localizados em todo território Nacional, serviços especializados relativos à elaboração do Projeto Detalhado da Pilha de Rejeitos (PDR) para Mineração Maracá, estrutura com aproximadamente 130 metros de altura. Chief Executiver Officer e Geotécnico Senior na Fonntes Geotécnica, Presidente do Instituto Geotécnico e Member of Consulting Staff da empresa Mineração Buritirama.

### **Milla Reis de Alcântara**

Possui graduação em Administração pelo Instituto de Estudos Superiores da Amazônia (2005). MBA em Gestão Estratégica do Agronegócio pela Fundação Getúlio Vargas/SP (2008). Mestra pela Faculdade de Engenharia Agrícola - FEAGRI/UNICAMP (2013), na área de Planejamento de Desenvolvimento Rural Sustentável. Doutora pela Faculdade de Engenharia Agrícola - FEAGRI/UNICAMP (2017), na área de Gestão de Sistemas na Agricultura e Desenvolvimento Rural. Atualmente Professora Substituta na Universidade do Estado do Pará - UEPA. Atuando nos seguintes temas: Gestão Empresarial e Financeira, Desenvolvimento de Novos Produtos e Marketing, Introdução à Economia, Marketing, Empreendedorismo, Mercadologia e Administração para Engenharia.

### **Miriam Cleide Cavalcanti de Amorim**

Química Industrial e Engenheira Química pela Universidade Católica de Pernambuco. Gestor Público em Arranjos Produtivos Locais, e Especialista em Gestão Ambiental. Mestre em Engenharia Química (UFPB, 1995), Doutora em Engenharia Química (UFPE, 2015). Atuou entre os anos de 1997 e 2009 como Engenheiro efetivo da Companhia Pernambucana de Saneamento e como Pesquisador conveniado da Embrapa Semiárido. Atualmente é professor adjunto da Universidade Federal do Vale do São Francisco, lecionando as disciplinas de Poluição Ambiental, Tratamento de Resíduos e Saneamento Básico. Líder do Grupo de Pesquisas Saneamento Ambiental em Meios Rural e Urbano no Vale do São Francisco (CNPq), integrando também o Grupo de Processos e Tecnologias Ambientais - UFPE (CNPq). Coordena o Núcleo Temático Recuperação de Áreas Degradadas e o Laboratório de Engenharia Ambiental, sendo Tutora do Programa de Educação Tutorial Saneamento Ambiental (MEC). Linhas de pesquisa atuais são: Tratamentos biológicos e reuso de resíduos sólidos e líquidos de origem agrícolas e agroindustriais; Reuso de biossólidos, esgotos sanitários e águas cinzas; Qualidade de água de recursos hídricos no Submédio São Francisco; Tecnologias sócio ambientais apropriadas para a convivência no Semiárido.

### **Natácia da Silva e Silva**

Graduada em Tecnologia Agroindustrial pela Universidade do Estado do Pará (UEPA) no ano de 2009. Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos (2012) e Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Federal do Pará (2017). Atualmente é professora Assistente III do Departamento de Tecnologia de Alimentos (DETA) da Universidade do Estado do Pará, campus Cametá. Tem experiência na área de Ciência e Tecnologia de Alimentos. É coordenadora e membro de projetos de pesquisa e extensão, coordenadora do curso de especialização em Gestão da Qualidade na indústria de Alimentos, coordenadora do Núcleo de Projetos, Inovação e Empreendedorismo da Universidade do Estado do Pará que tem como finalidade apoiar a criação de novas e manutenção das em-

presas Juniores, bem como promover ações de educação empreendedora a nível de graduação e pós - graduação e atualmente é coordenadora da Uepa, Campus Cametá. Atua na área de certificação de produtos da agricultura familiar, empreendedorismo e inovação de alimentos. Possui pesquisas nas áreas de pescado, produção de gelatina, formação de filme biodegradável e certificação de produtos da agricultura familiar.

### **Olivia Amaral Perdigão**

Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal Fluminense, UFF, Brasil.

### **Rafael Freitas Rodrigues**

Possui graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental pelo Centro Universitário do Leste de Minas Gerais (2007) e atua no desenvolvimento de estudos e projetos na área de Geotecnia desde 2011. Atualmente é integra o corpo de Engenheiros na Empresa Fontes Geotécnica Ltda. Curso de Especialização em Engenharia de Barragens pela PUC Minas.

### **Ranielle Linhares da silva**

Técnico em Edificações pelo IFRN- Campos Mossoró/RN, Graduado em Engenharia Civil Pela Universidade Potiguar- UnP, pós-graduado em Engenharia Ambiental e Saneamento Básico pela Universidade Estácio de Sá e pós-graduado em Gestão de Recursos Hídricos pela faculdade Alfa América. Atualmente é gestor de resíduos sólidos - Serviço de Limpeza Urbana do Distrito Federal-SLU/DF. Possui vasta experiência na gestão e regulação de recursos hídricos, tendo ocupado diversos cargos na Secretaria Estadual de Recursos Hídricos do RN e participado como membro titular do CONERH e CONEMA.

### **Raphael Basilio Pires Nonato**

Possui graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). É especialista em Gerenciamento de Projetos pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Possui Mestrado em Engenharia Mecânica, especificamente em Projeto Mecânico pela Universidade de Taubaté (UNITAU). Possui experiência na área de Engenharia Mecânica, com ênfase em projetos e processos de fabricação. Atualmente exerce as atividades de professor no Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC) e de estudante de doutorado na Universidade de Sorocaba (UNISO).

### **Rose Carvalho Rocha Elias**

Engenheira civil pela Universidade Federal de São João Del-Rei (2017), com pós graduação lato sensu em Engenharia Geotécnica pela Faculdade Unyleya (2019) e em Engenharia de Barragens pela PUC MINAS (2020). Durante a graduação, participou de projetos de pesquisa nas áreas de construção civil e geotecnia e foi monitora nas disciplinas de Construção Civil e Mecânica dos Solos II. Foi vice-presidente da empresa Junior do curso de Engenharia Civil (Ideal Consultoria Jr.) e Secretária Geral no Crea Minas Junior Núcleo Ouro Branco. Realizou estágio no Departamento de Estradas de Rodagem - Coordenaria de Formiga/MG, dando auxílio ao corpo técnico no acompanhamento de fiscalização de obras de estradas e terraplenagem. Participou em atividades de elaboração de orçamento, apoio técnico e planejamento em projetos voltados para geotecnia, obras civis e eletromecânicas na CSN Mineração. Foi analista de planejamento no Consórcio Rio Acima, realizando acompanhamento e elaboração de reportes de obras de adequação de barragens para descaracterização e descomissionamento. Vem atuando desde 2018 em consultorias e projetos para mineração, ATO (Acompanhamento técnico de obras), voltados para projetos e soluções de pilhas de rejeitos e estéril, barragens e sistemas de disposição de rejeitos, assim como consultoria em análise de riscos pela metodologia FMEA/FMECA e auditorias de segurança de barragens.

### **Vanessa End de Oliveira**

Atualmente Professora Associada da Universidade Federal Fluminense do Campus Universitário de Rio das Ostras. Possui doutorado em Química pela Universidade Federal de Juiz de Fora, área de concentração Físico-Química em 2011. Os temas de trabalho abrangem a chamada "Química Supramolecular" estudando sistemas mistos formados entre diferentes porfirinas, oxocarbonos, esquarainas e alguns metais da primeira série de transição. Destacam-se projetos associados à Química de produtos naturais de modo geral bem como suas relações com as principais técnicas espectroscópicas, trabalho estes realizados no Grupo de Espectroscopia Molecular (NEEM/UFJF) em Juiz de Fora, MG. Juntamente ao Grupo de Pesquisa em Engenharia de Materiais UFF/Rio das Ostras realiza, dentre outros, projetos de investigação de processos corrosivos em diferentes materiais e meios.

### **Victor Daniel de Lima Cunha**

Graduação em andamento em Ciências Biológicas, Universidade Federal do Vale do São Francisco, UNIVASF, Brasil.

### **Vitor Marcos Lima dos Santos**

Graduação em andamento em Engenharia Agrícola e Ambiental, Universidade Federal do Vale do São Francisco, UNIVASF, Brasil. Bolsista PET Saneamento Ambiental.

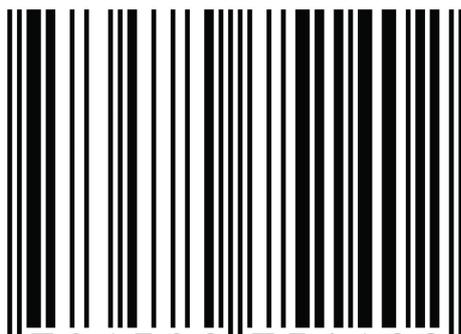
### **Witson Andrade Silva**

Possui formação técnica em edificações, pela Universidade Estadual do Maranhão-UEMA (2014) , graduação em Engenharia Civil pela Universidade Estadual do Maranhão - UEMA (2016), especialização em Engenharia Civil, na área de construções civis, pela Faculdade Tecnológica de Alagoas - FAT (2018) e MBA em Gestão de Empresas e Negócios, pelo Instituto Nacional de Educação e Extensão - INEX (2021). Atualmente cursa Engenharia de Produção na Universidade Estadual do Maranhão-UEMA, MBA em gerenciamento de Obras, produtividade e tecnologia da construção no Instituto de Pós Graduação e Graduação - IPOG, e mestrando em Engenharia Civil, na área de construções civis, pelo Instituto Universitário do Atlântico - IUA.

**N**esta obra os Organizadores ressaltam a importância da série científica “Engenharia 4.0: a era da produção inteligente” no contexto empresarial, científico e seus utilitários, por se tratar de tema da maior relevância para a indústria e centros de pesquisa que buscam identificar propostas com o potencial de desenvolvimento tecnológico e inovação. Pautada com trabalhos focalizados em discussões da Engenharia a respeito da produção inteligente e sua nova fronteira, oportuniza aos acadêmicos, professores e profissionais atuantes excelente material para novas reflexões.

ISBN: 978-65-80751-40-2

**BR**



9 786580 751402

  
**Pascal**  
Editora